

REFRACCIÓN

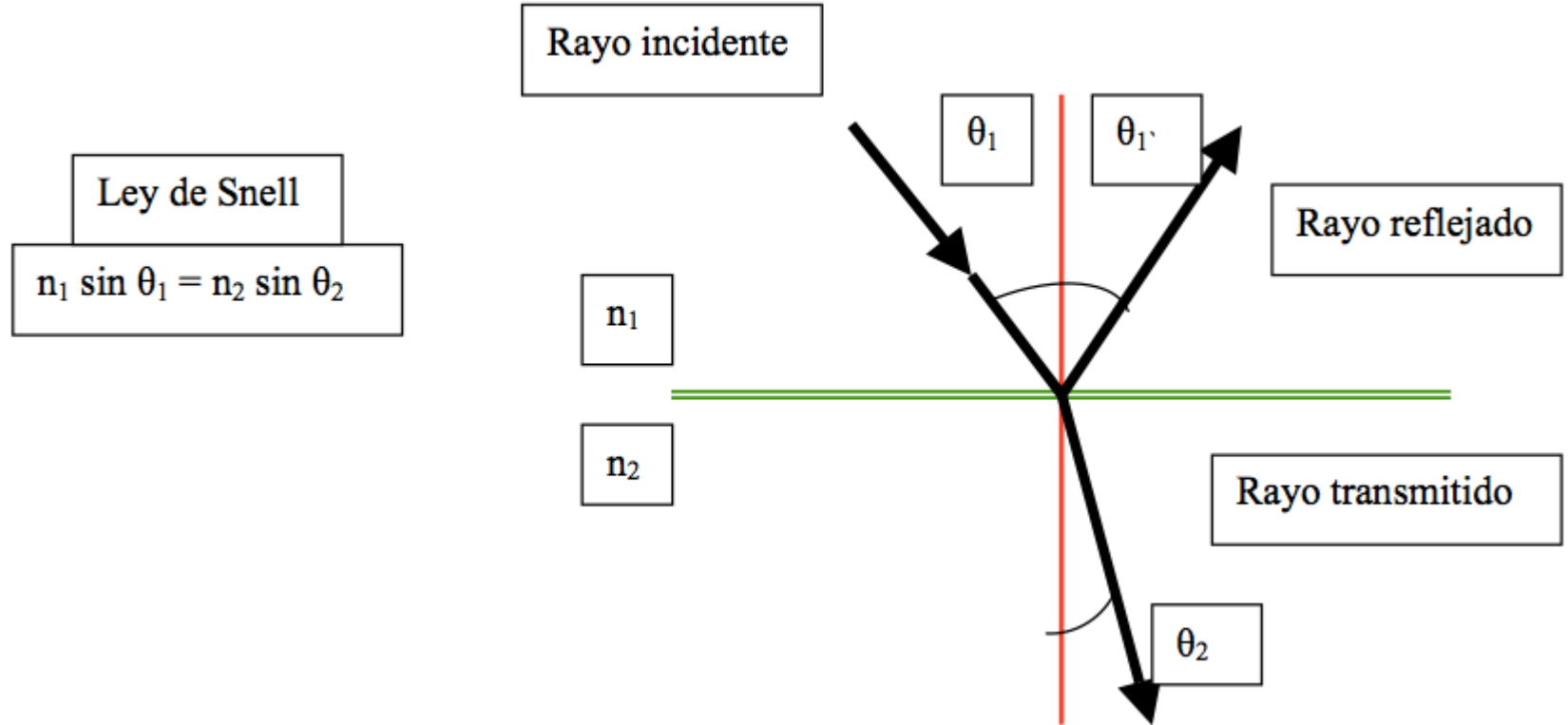
Es el brusco cambio de dirección de la luz, al pasar oblicuamente de un medio a otro, cuando se propaga en ellos a velocidades diferentes

La luz en los medios isótropos

Un rayo que incide sobre una superficie de separación entre dos medios isótropos da lugar a

- a) Un rayo reflejado, que nunca cruza la superficie de separación de los medios**
- b) Un rayo refractado, que yace a cierto ángulo de la normal a la superficie de separación dependiendo de la densidad e índice de refracción del medio en el que ingresa**

Ley de Snell



El ángulo de refracción depende del ángulo de incidencia y del índice de refracción de los materiales a cada lado de la superficie de separación de esos dos medios, siguiendo la Ley de Snell (θ_1 = ángulo de incidencia; θ_2 = ángulo de refracción)

Por la ley de Planck sabemos que $e = h.f = h.C/\lambda$

h = constante de Planck, 6.62517×10^{-27}

f = frecuencia

C = velocidad de la luz en el vacío = $\sim 3 \times 10^8$ m/s

λ = longitud de onda

En medio distinto del vacío la velocidad C decrece en proporción a la densidad de dicho medio

(Ej: diamante: $1,24 \times 10^8$ m/s)

f se mantiene

λ por lo tanto debe decrecer para satisfacer el principio de conservación de la energía.

Se define como **índice de refracción n** a la relación de velocidad de transmisión de la luz en el vacío y en cualquier otra sustancia (por lo tanto $n > 1$)

$$\mathbf{n = C_v / C_{min} ; C_v \sim C_a}$$

$$\mathbf{n \sim 1/ C_{min}}$$

Recordando:

Ley de Snell

Es la relación entre los senos de los ángulos y las inversas de las velocidades de propagación de la luz entre 2 medios

Para cualquier ángulo de incidencia la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es constante, y las velocidades también son constantes

Si n es el índice de refracción de un material transparente con respecto al aire, y $V1$ es la velocidad en el aire y $V2 =$ velocidad en el medio, entonces:

$$n = V1 / V2$$

Si n_1 y n_2 son los índices de refracción de dos materiales diferentes, entonces:

$$n_2 / n_1 = V_1 / V_2$$

Los índices de refracción de dos sustancias transparentes son inversamente proporcionales a la velocidad de la luz en los dos medios

Cuando mayor es el índice de refracción de un mineral, más lento será el paso de la luz por él.

El índice de refracción del aire seco, a 760mm Hg es ligeramente superior a la unidad (1,000274 a 15°C).

Por lo tanto, prácticamente no hay diferencia con respecto al índice en el vacío

Los ángulos i (θ_1) y r (θ_2) pueden medirse experimentalmente y así determinar n .

El índice de refracción depende del tipo de sustancia y de la longitud de onda de la luz

El índice para sustancias isótropas se lo designa con la letra n

Para minerales tetragonales y hexagonales con n_ϵ y n_w

Los minerales de los sistemas: ortorrómbico, monoclinico y triclinico, tienen tres índices principales n_γ (el mayor), n_α (el menor) y n_β (intermedio).

En la siguiente tabla se dan algunos valores para minerales conocidos

Mineral [⊗]	n_D [⊗]	Índice de refracción [⊗]
Fluorita [⊗]	---	$n = 1,4338$ [⊗]
Cuarzo (1) [⊗]	---	$n_E = 1,5533$; $n_W = 1,5442$ [⊗]
Calcita (1) [⊗]	---	$n_W = 1,6585$; $n_E = 1,4863$ [⊗]
Apatita (1) [⊗]	---	$n_W = 1,6461$; $n_E = 1,6417$ [⊗]
Aragonita (1) [⊗]	---	$n_\alpha = 1,5301$; $n_\beta = 1,6816$; $n_\gamma = 1,6859$ [⊗]
Granate (Grosularia) [⊗]	(amarilla) [⊗]	$n = 1,7714$ [⊗]
esfalerita [⊗]	(amarilla) [⊗]	$n = 2,3692$ [⊗]

cuarzo, calcita y apatita, el índice varía entre n_E y n_W

aragonita varía entre n_α y n_γ

**Generalmente los minerales transparentes con un alto índice de refracción (mayor que 1,90) tienen una apariencia brillante llamada *lustre adamantino*.

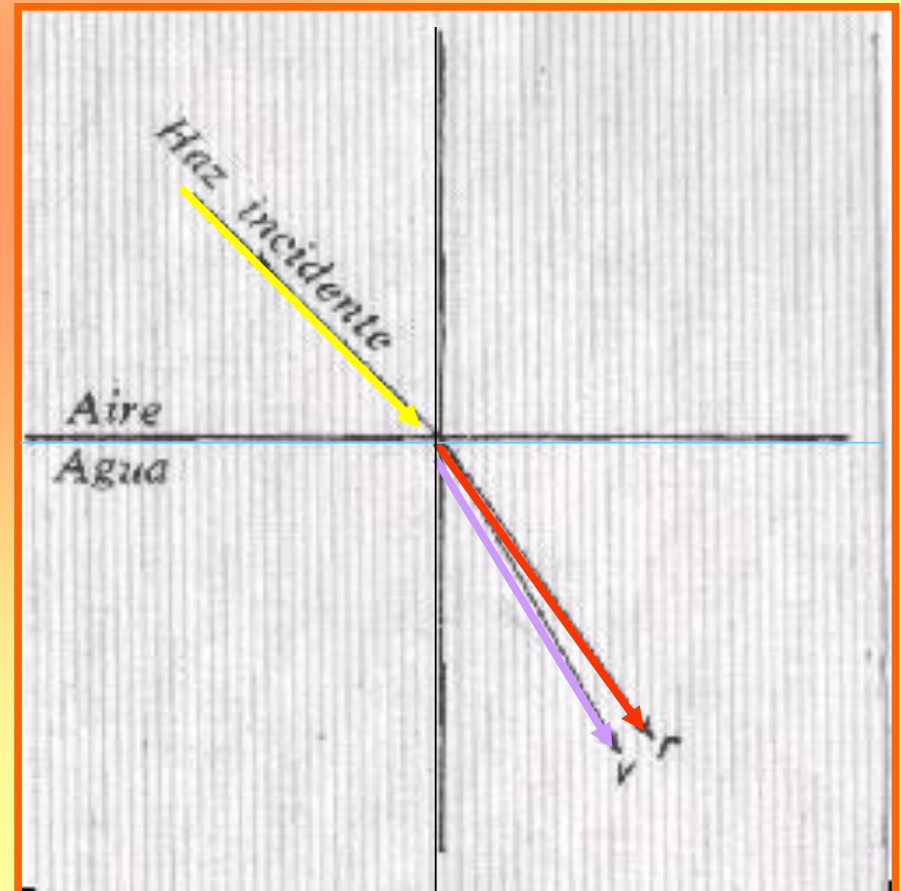
**Mientras que los de bajo índice tienen un *lustre vítreo*

DISPERSIÓN

Los índices de refracción difieren con la longitud de onda. En la luz blanca, este efecto resulta en un fenómeno llamado DISPERSION.

Variación de los ángulos de refracción para la luz de diferentes colores.

$n(\text{rojo}) < n(\text{violeta})$
 $n_{\text{rojo}} - n_{\text{violeta}} = d$



Los minerales varían notablemente en su poder dispersivo.

La *fluorita* tiene el valor mínimo y el *diamante* es uno de los valores más altos.

Esta propiedad se usa para transformar al *diamante* en brillante, mediante el corte según caras determinadas.

En cambio la *fluorita* se usa especialmente para lentes de microscopio debido precisamente a su baja dispersión

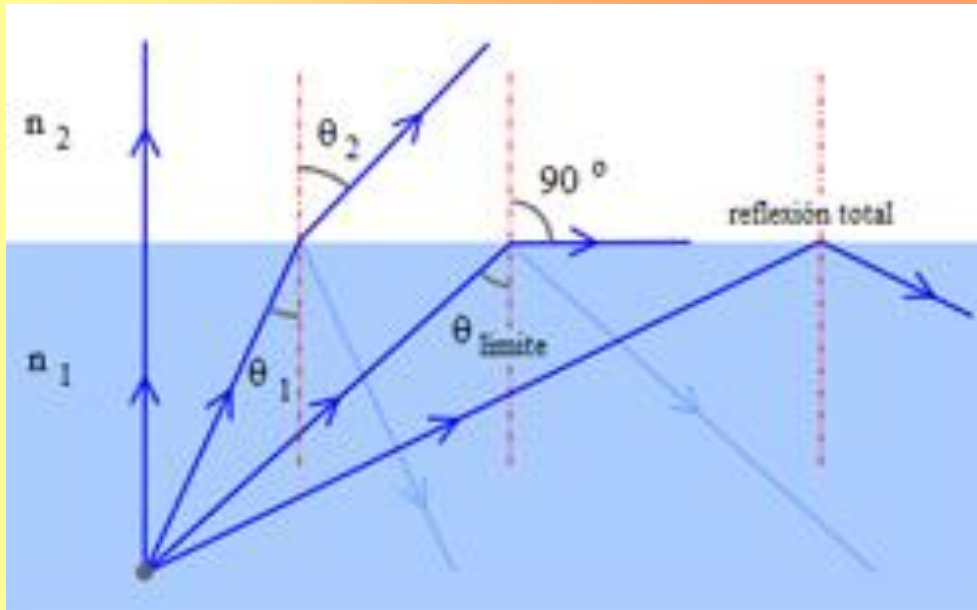
FLUORITA α		DIAMANTE α	
Iluminación α	Índice de refracción α	Iluminación α	Índice de refracción α
Roja K (A'), $\lambda = 768,2$ μ m	1,43095 μ m	Roja (Línea B) μ m	2,40735 μ m
Violeta H (G'), $\lambda = 434,1$	1,43963 α	Violeta (Línea H) α	2,46476 α
Dispersión α	0,00868 α	Dispersión α	0,05741 α

ANGULO CRITICO

Si la luz incide en un medio de mayor n , se refracta acercándose a la normal a la superficie de división.

Se aleja de la normal cuando penetra en un medio de menor n , acercándose a la superficie de separación de los dos medios.

Cuando $\theta_2 = 90^\circ$, el rayo refractado viaja por la superficie de separación de los dos medios y se dice que θ_1 es el ángulo crítico (ic). **Si $\theta_1 > ic$ = reflexión total de la luz**

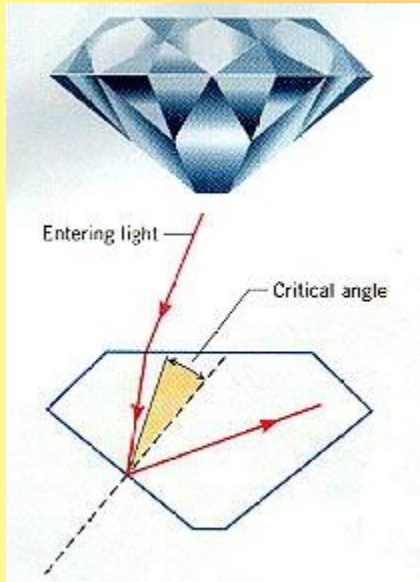


Como $\text{sen } ic = n_1/n_2$

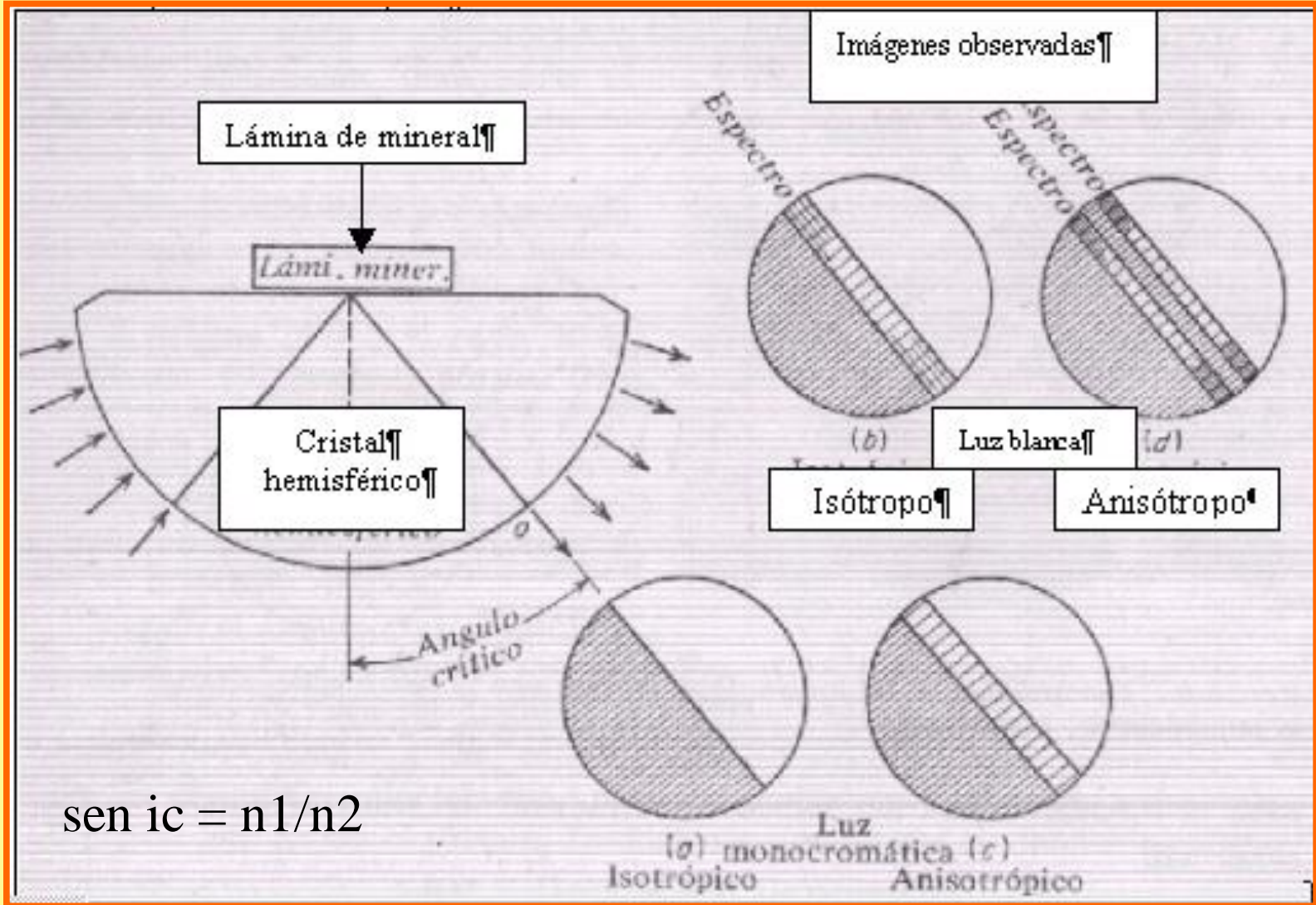
ic dependerá del n del otro material

ic Agua ($n \sim 1,33$) $48^\circ 31'$

ic diamante ($n = 2,42$) $24^\circ 24'$



DETERMINACIONES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON EL REFRACTÓMETRO DE REFLEXIÓN TOTAL



$$\text{sen } i_c = n_1/n_2$$

Iluminación inferior para determinar el ángulo crítico por reflexión total

INDICE DE REFRACCION EN LOS MINERALES

Los materiales amorfos y los minerales del sistema cúbico (ISÓTROPOS) tienen un solo índice de refracción n .

Los que cristalizan en los sistemas tetragonal y hexagonal tienen dos índices de refracción principales (n_{ε} y n_w)

Los ortorrómbicos, monoclínicos y triclínicos tienen 3 índices principales, mínimo, intermedio y máximo (n_a , n_{β} , n_{γ}).

La diferencia de n de los minerales y el medio de inmersión, o entre minerales que están en contacto entre sí se denomina RELIEVE

$n_{\text{medio}} \text{ inmersión} = 1,54$



Relieve aumenta cuanto más diferencia hay entre n_{min} y n_{medio}

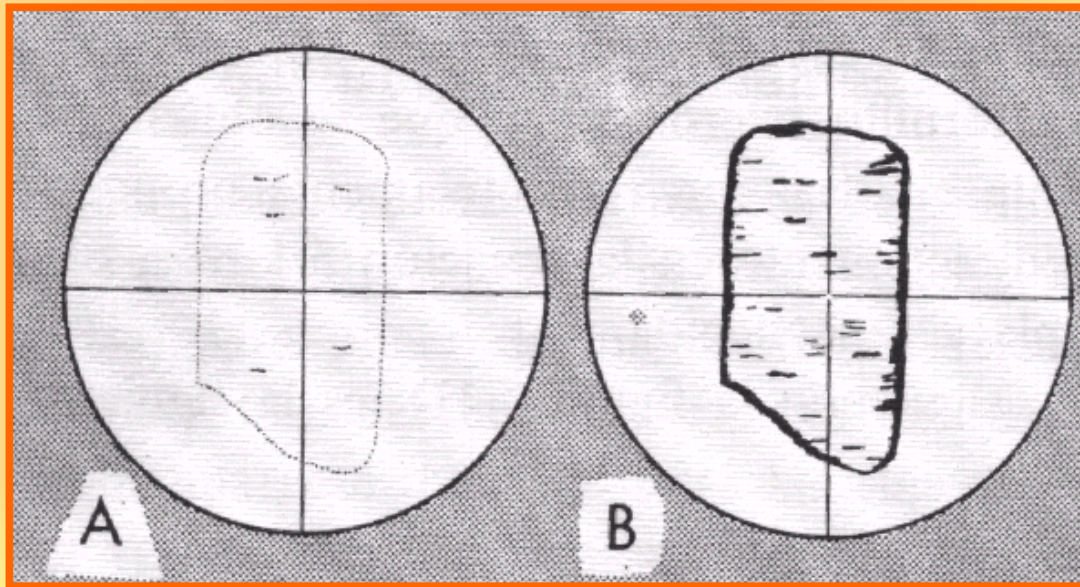
DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION CON EL MICROSCOPIO

El método más conocido para estimar n es mediante la evaluación del relieve con el método de la ILUMINACION CENTRAL, también conocido como MÉTODO DE LA LÍNEA DE BECKE, para el cual el tren del microscopio es el siguiente:

- ***Diafragma iris parcialmente cerrado***
- ***Polarizador inferior***
- ***Lente convergente (puede o no usarse)***
- ***Objetivo de 10X o mayor***
- ***Analizador fuera del tren del microscopio***
- ***Ocular de 8X ó 10X (aumento de 80 a 100)***

La muestra se coloca en la platina y se realiza el enfoque de la misma. Luego se varía la distancia de trabajo con el tornillo micrométrico de enfoque

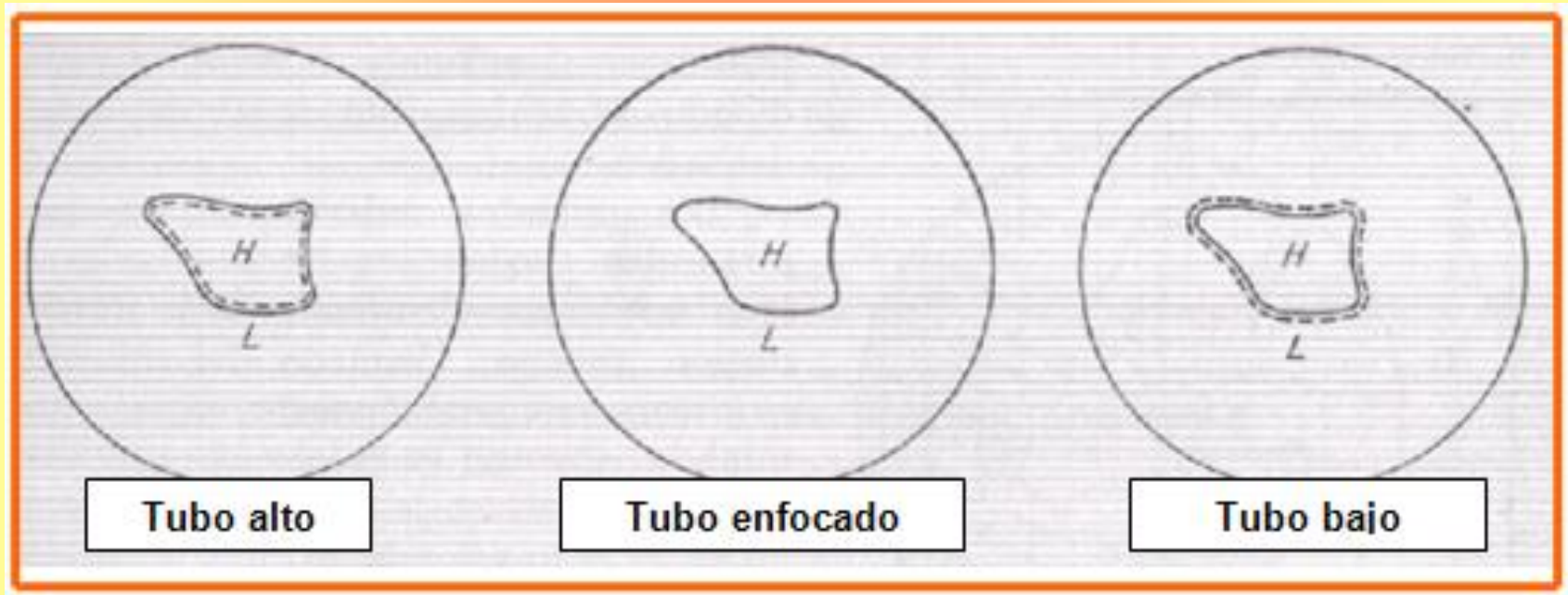
Si existe una diferencia de índice, se observa una línea brillante que bordea el grano mineral



A posee un relieve débil, por su bajo contraste con el índice de refracción del medio y B un relieve fuerte, por su alto contraste con el medio de inmersión.

**Movimiento de la línea de Becke con la variación de la distancia de trabajo, entre la muestra de un grano de un mismo mineral, y el objetivo del microscopio.
(H) es el mineral y (L) es el líquido.**

Esta línea se desplazará hacia el medio de mayor índice, cuando se aumenta la distancia de trabajo



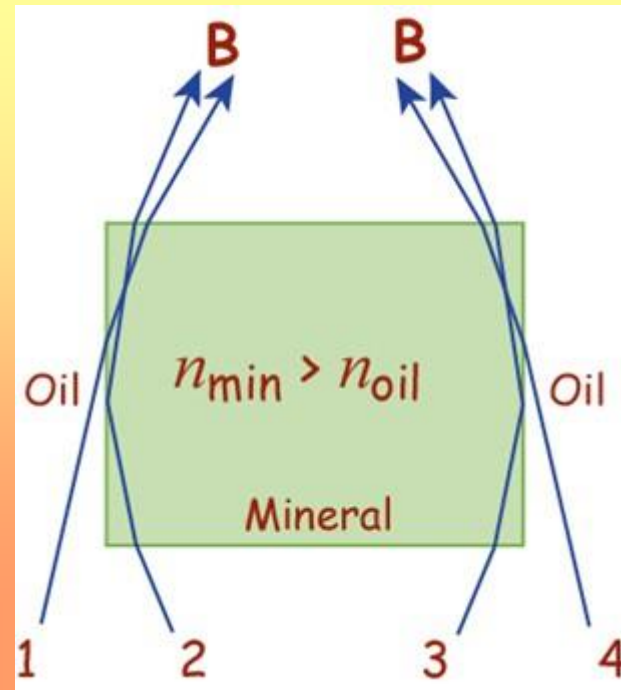
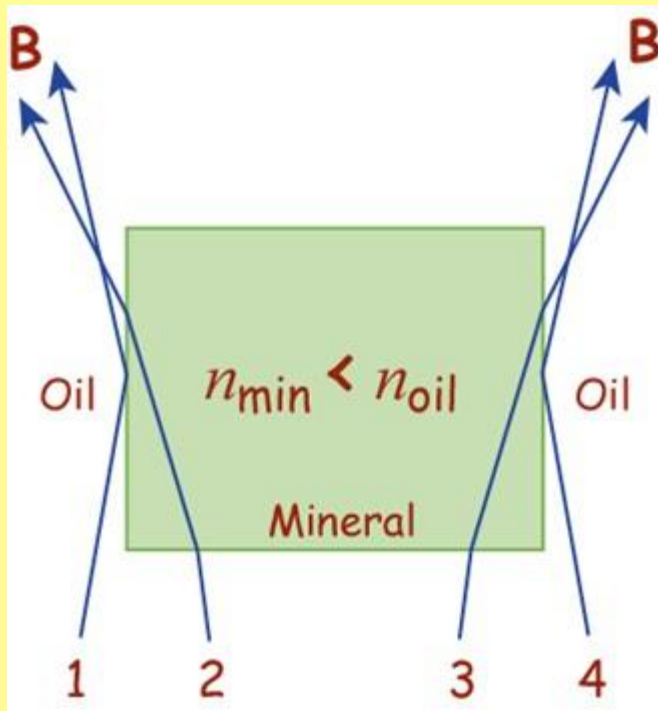
RI = 1.54

Orthoclase

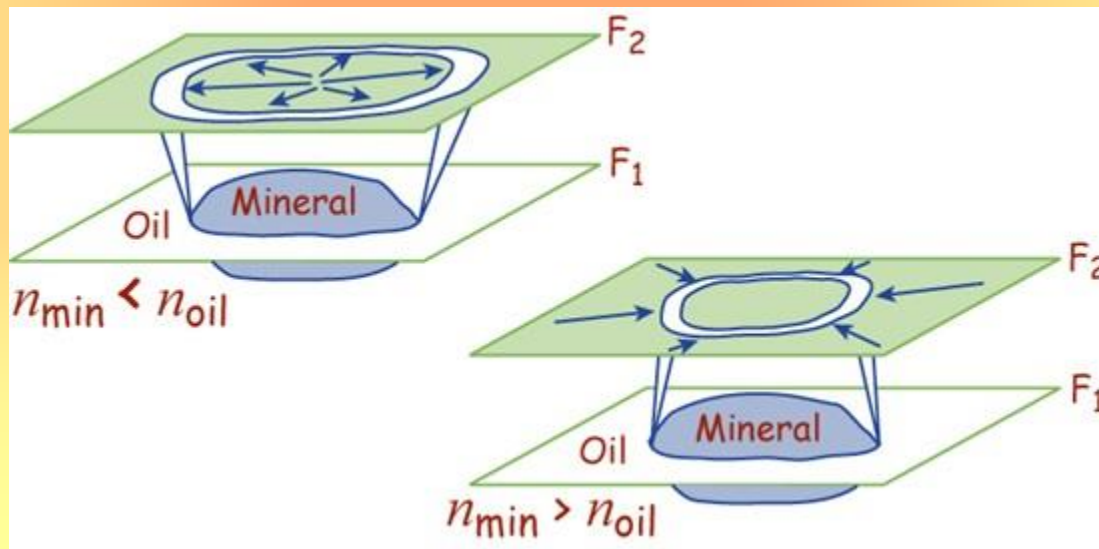
RI = 1.51-1.52

Becke Line - band of light visible outside the grain



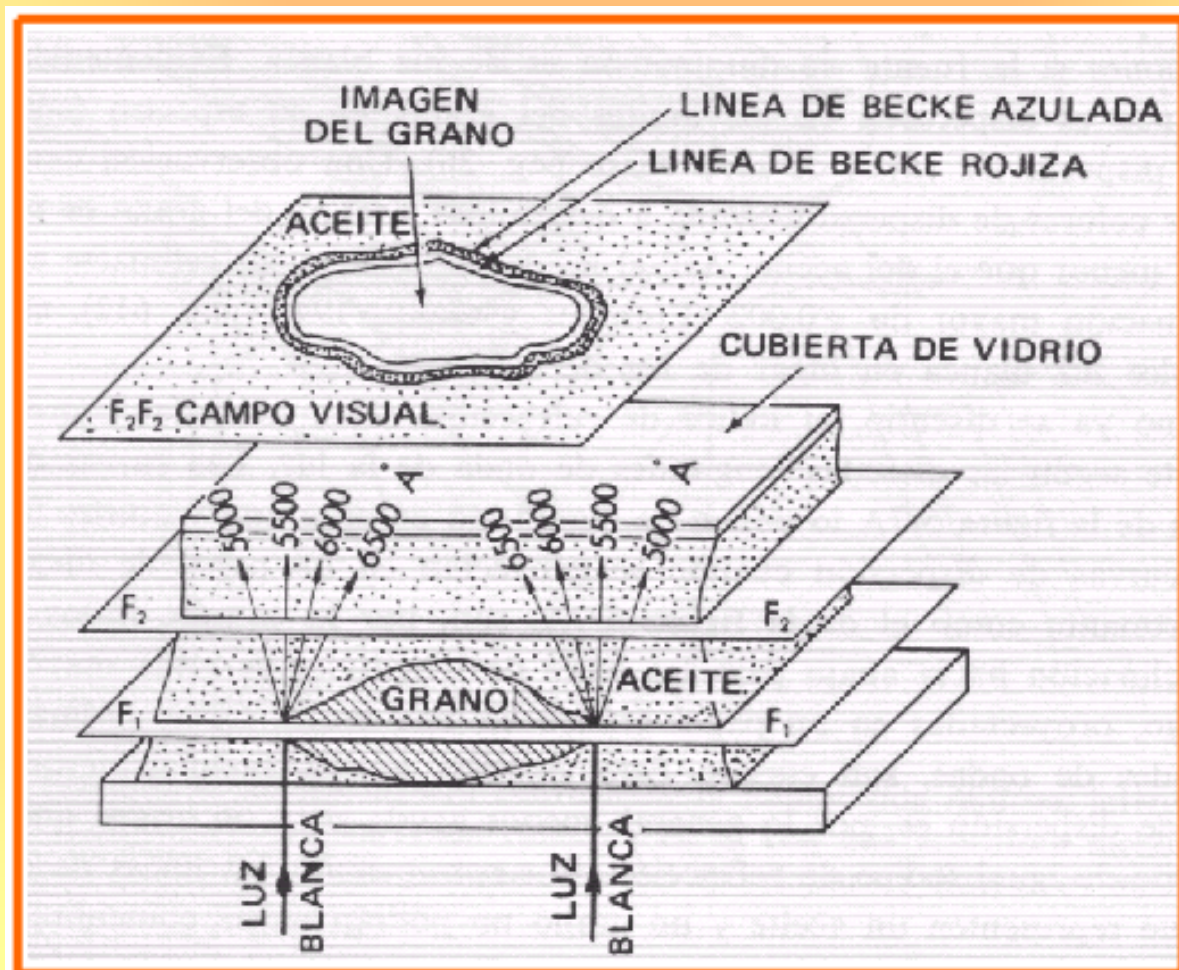


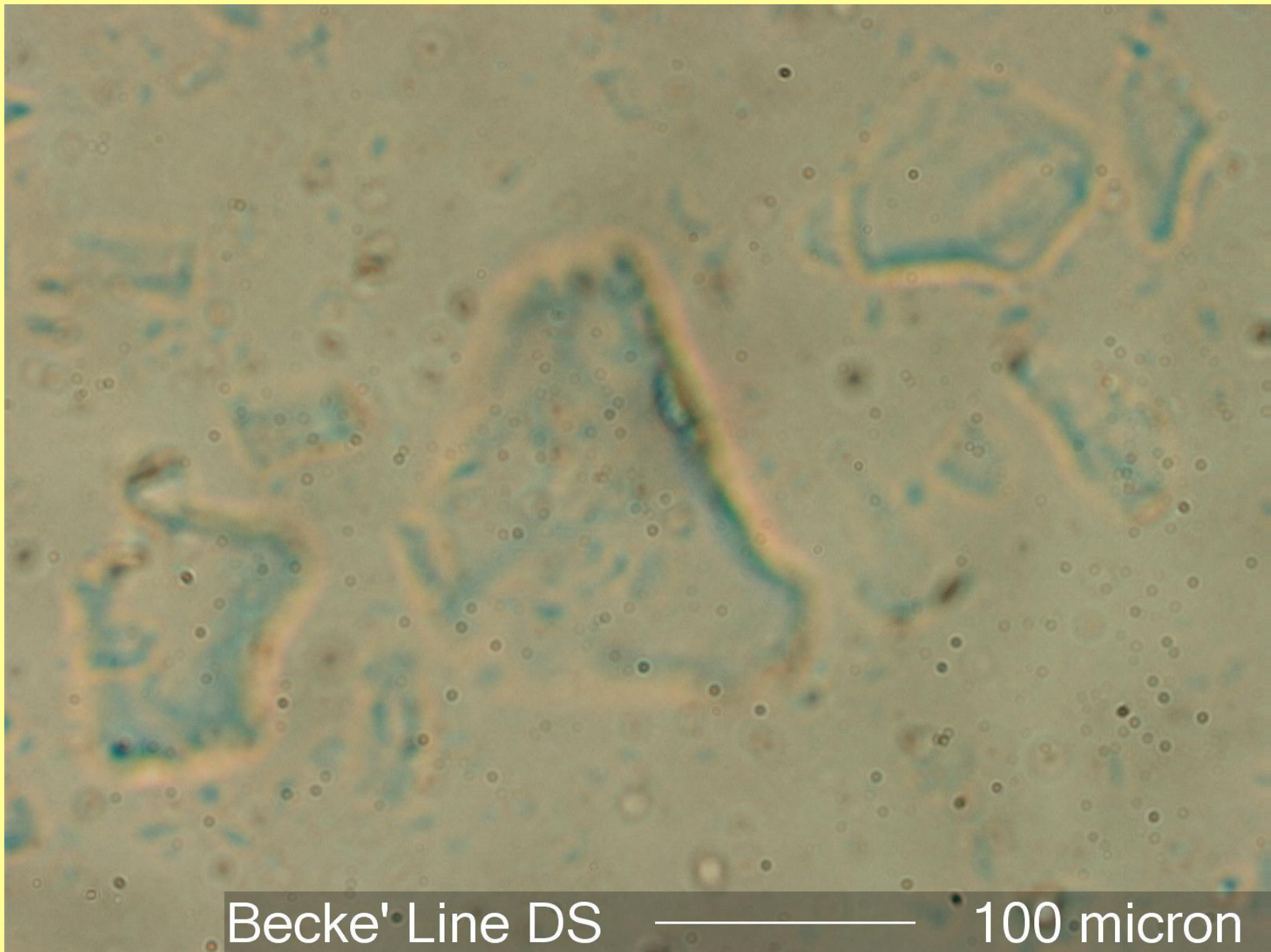
Caso 1



Caso 2

Dispersión de la luz blanca en los bordes del grano. El campo visual F_2F_2 es el que se ve, cuando se enfoca el microscopio en el plano F_1F_1 , donde el grano no se ve con tanto detalle como en F_2F_2 . Los ángulos entre los rayos luminosos de diferentes longitud de onda están exagerados.





Becke' Line DS

100 micron

Calcita (Cal)



Sistema cristalográfico = Romboédrico (trigonal).
Uniaxial (-)

IR ϵ = 1,486 (calcita pura)-(1,550)

ω = 1,658-(1,740)

OBSERVACIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MICROSCÓPICAS DE LOS MINERALES, UTILIZANDO EL MICROSCOPIO DE POLARIZACIÓN

Las propiedades ópticas al microscopio, se determinan con menor facilidad que las otras propiedades físicas de los minerales, pero son importante en la caracterización e identificación de los mismos. Solo se requiere una pequeña cantidad de material. Se tiene que seguir un orden de observaciones más o menos sistemático, que es el siguiente:

a) Observaciones microscópicas, con luz paralela: En el tren del microscopio no deben colocarse ni el analizador ni la lente de Amici-Bertrand. En estas condiciones se pueden observar las siguientes propiedades ópticas:

1. Color y Pleocroismo

El color del mineral por transparencia generalmente no es el mismo que al natural y depende de su capacidad de absorción de la luz polarizada. La coloración es siempre más débil en secciones delgadas y aquellos minerales poco coloreados aparecen totalmente incoloros.

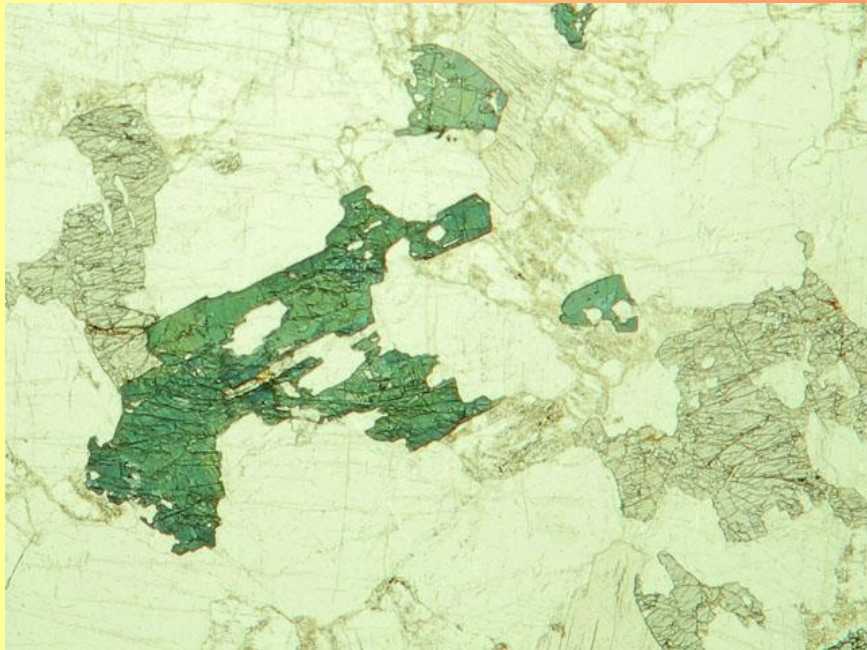
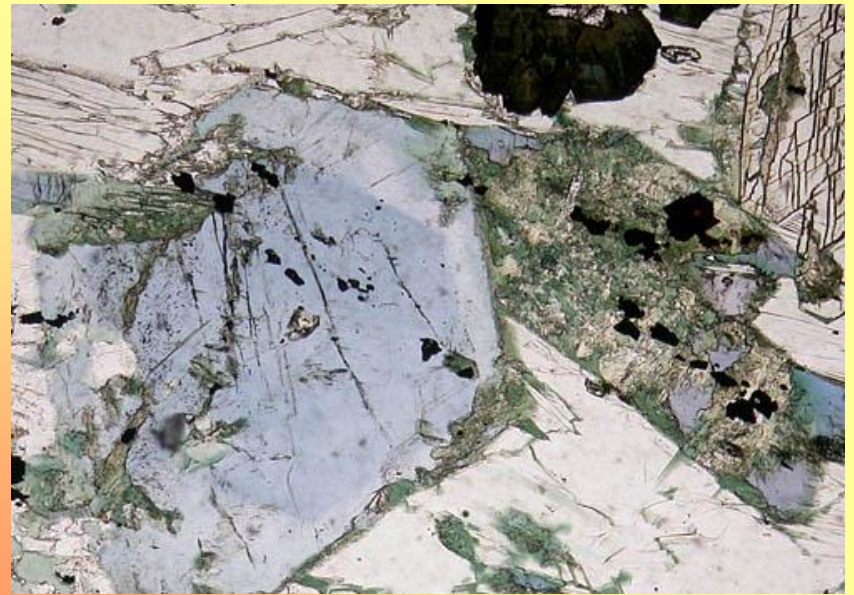
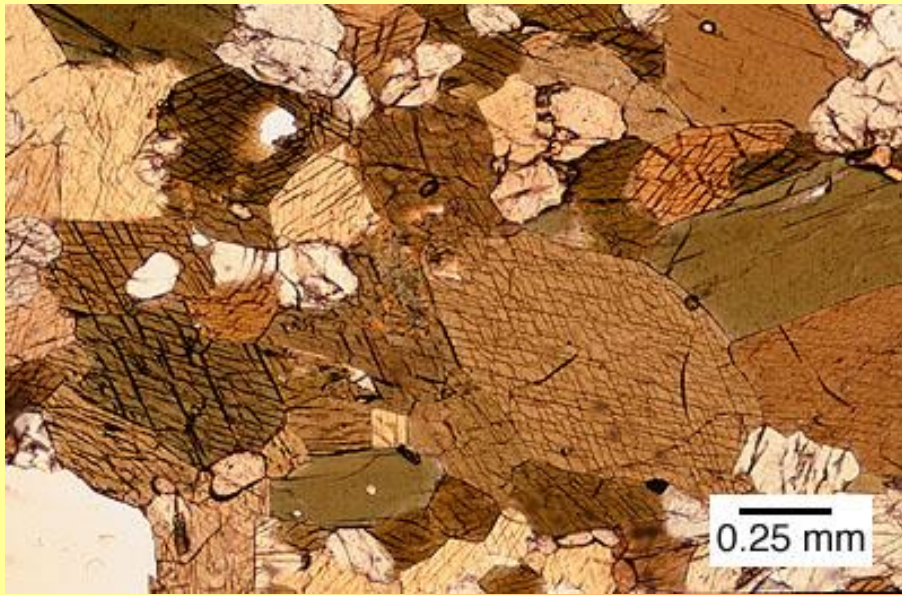
Al girar la platina se puede observar que algunos minerales cambian de color en determinadas direcciones. Este fenómeno se llama *pleocroismo*, o *anisotropía de la absorción* y su presencia depende del sistema en que cristaliza un mineral.

Cúbicos y sustancias amorfas: sin pleocroismo

Demás sistemas: pueden o no ser pleocroicos

Dimétricos: dicroicos

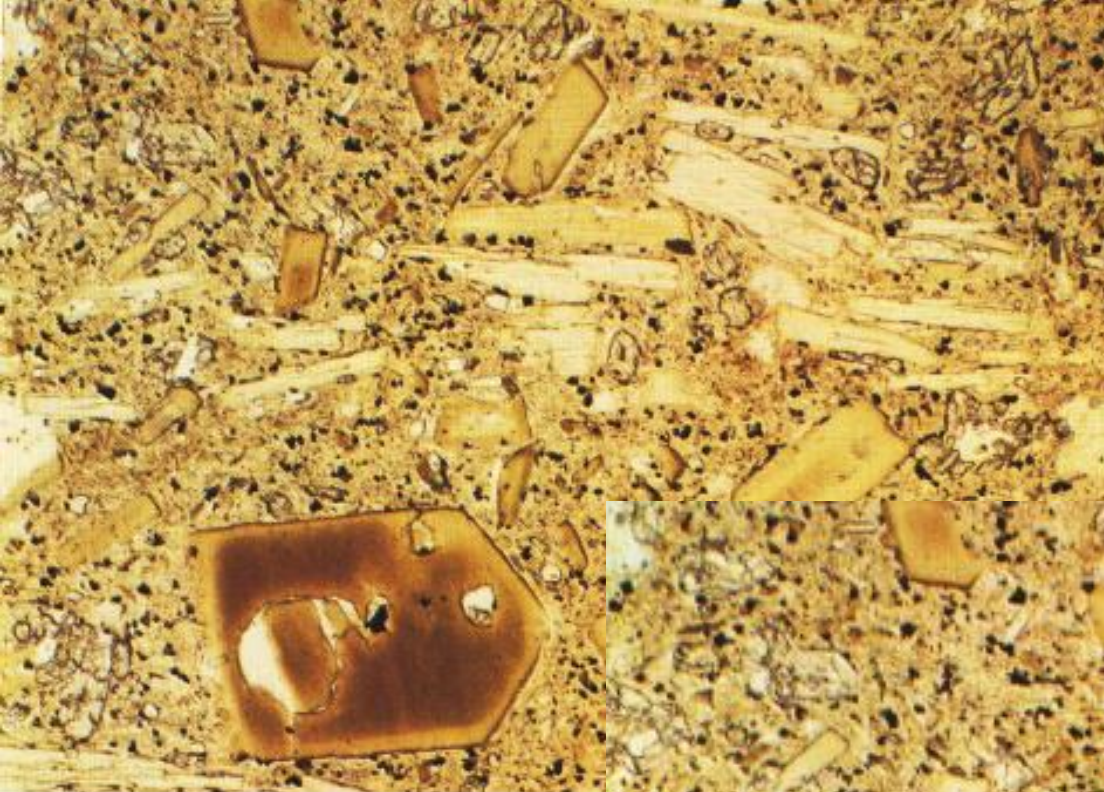
Trimétricos: hasta tres colores



Pleocroismo en Turmalina y Biotita

La absorción diferencial del color sigue direcciones cristalográficas semejantes (más oscuro \perp al eje c) pero la elongación de los minerales es opuesta





Algunas secciones no tienen pleocroísmo, pues depende de cómo está cortado el mineral

Cristales desarrollados en la cara (001) del pinacoide basal en biotita no muestran pleocroísmo !!!



2. Forma y hábito

Los minerales se presentan de varias formas bajo el microscopio, dependiendo de la cristalografía y de las condiciones de cristalización. La forma observada puede ser un indicio para la determinación del mineral.

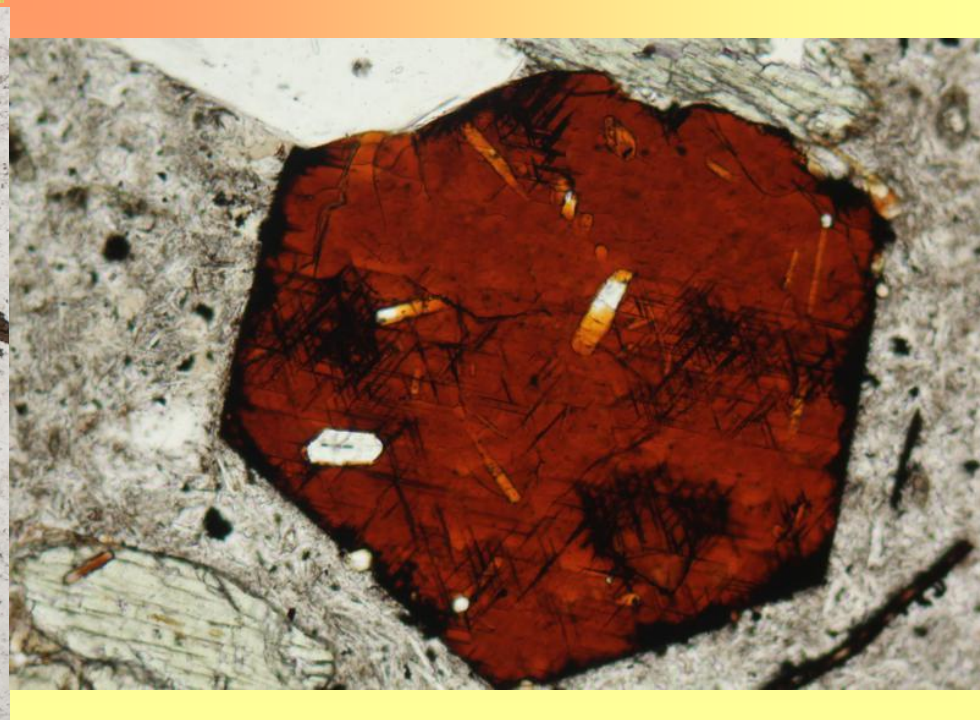
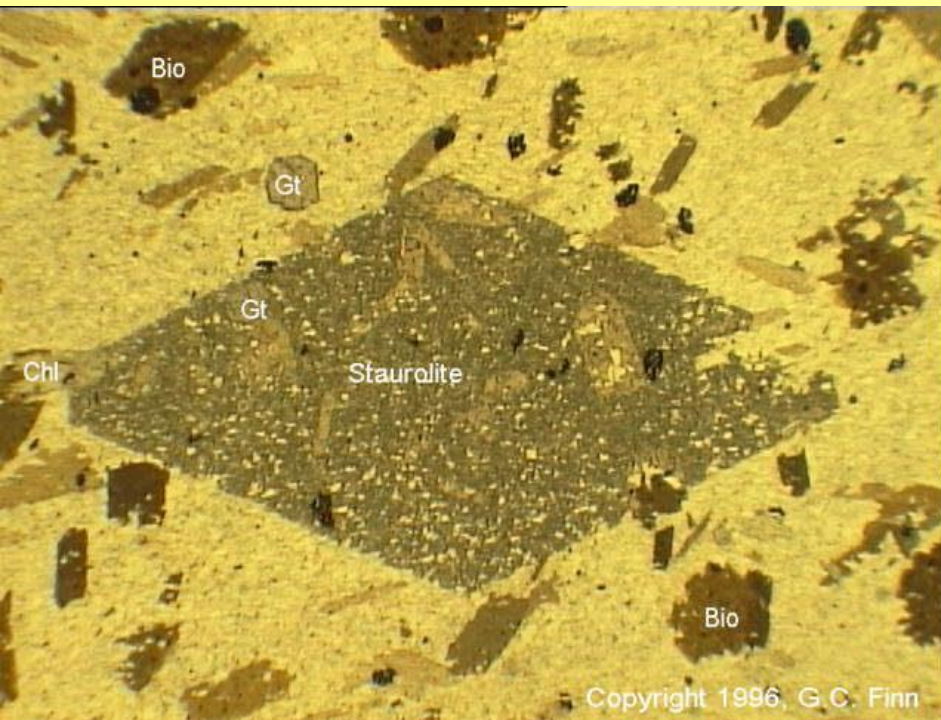
La tendencia de desarrollo individual se llama *hábito*. El agrupamiento de unos pocos o varios cristales también puede ser importante en su determinación.

Forma

Euhedra: el cristal tiene un contorno correspondiente a secciones de caras cristalinas

Subhedra: algunas formas cristalinas y mucho del contorno es irregular

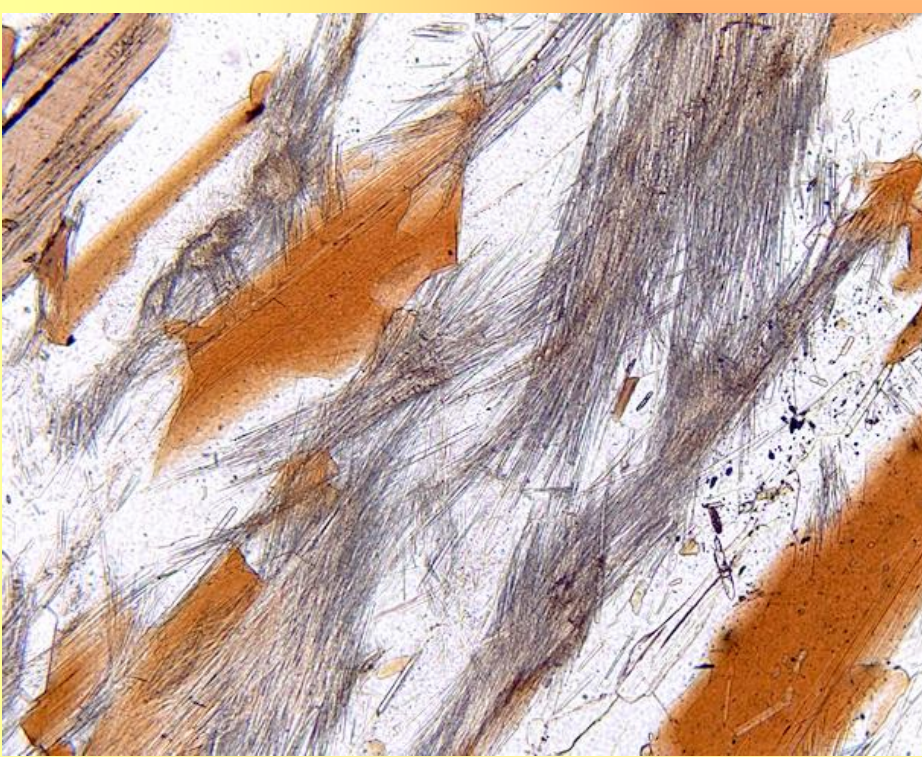
Anhedra: sin formas cristalinas definidas, contornos ameboides

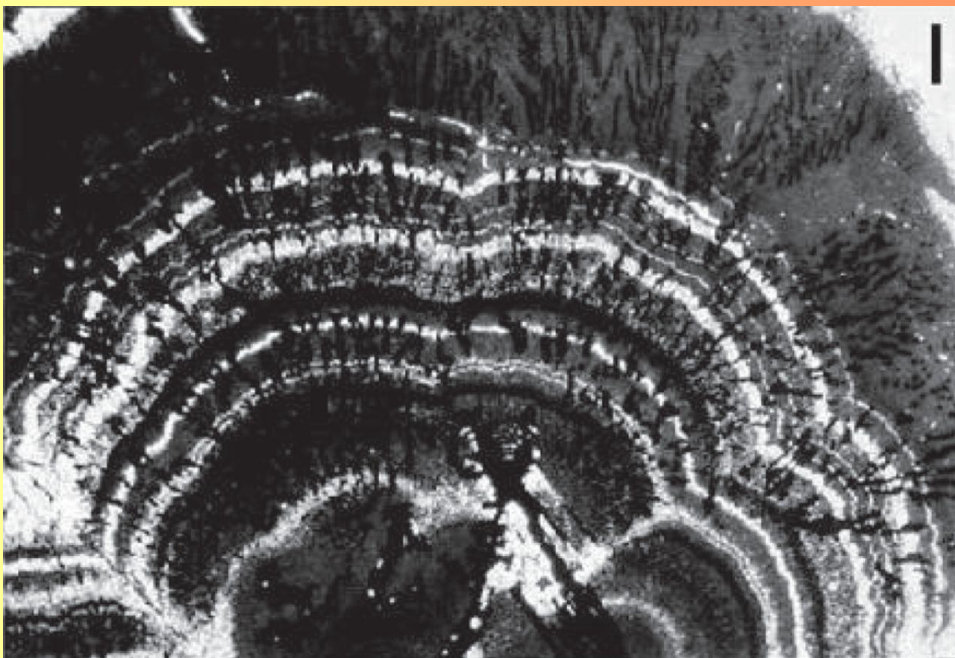
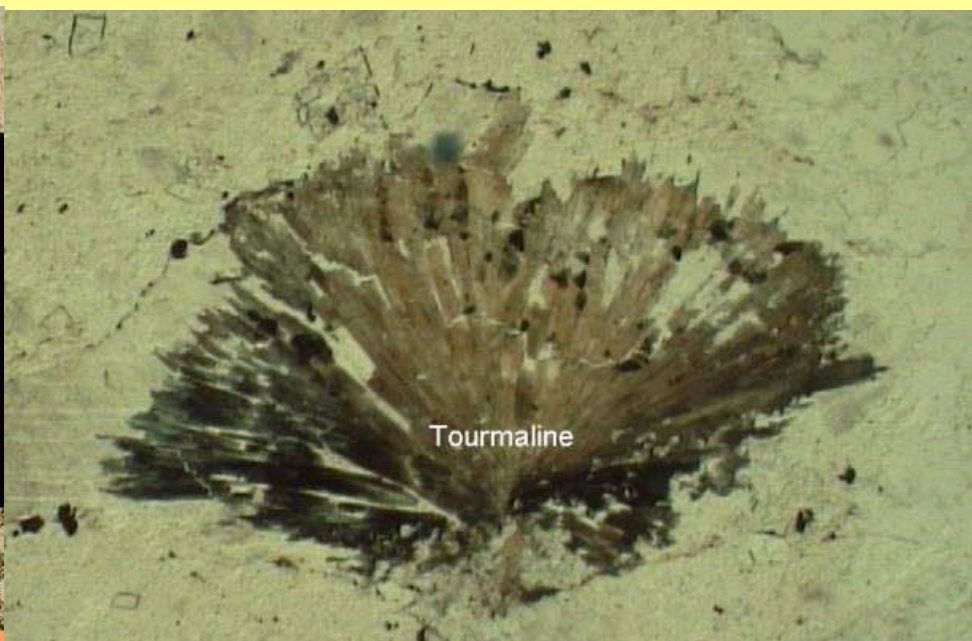
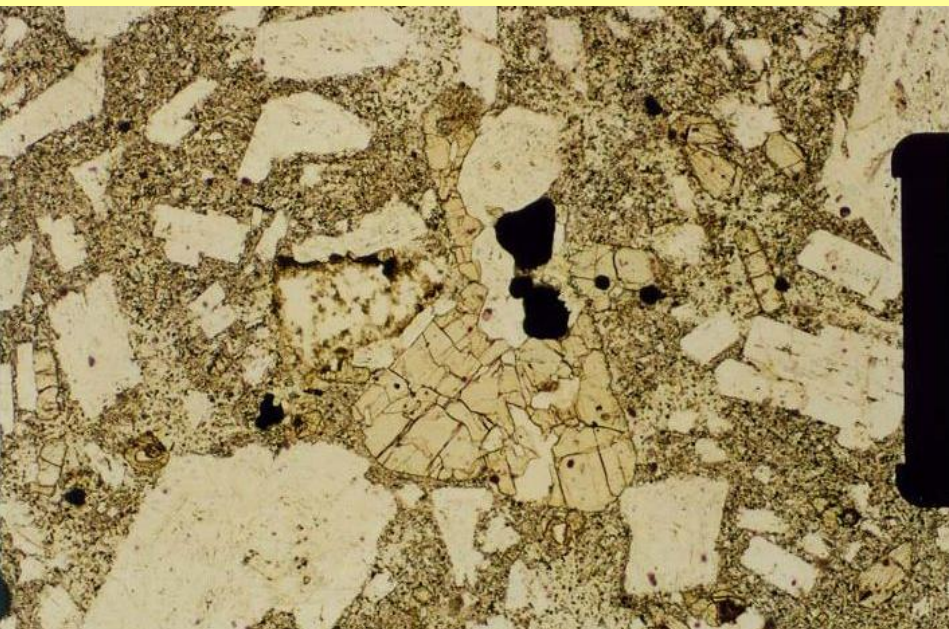


Hábito

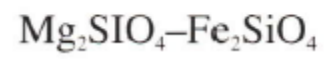
Refiere a la forma de presentación del individuo o un agregado.

Ej: prismático, fibroso, radiado, coloforme, tabular, hojoso





Olivino (Ol)



3. Clivaje: Al microscopio el clivaje se observa como líneas más o menos rectas con orientaciones paralelas o que se cortan entre sí. Estas líneas pueden ser muy marcadas y continuas o apenas visibles según la calidad del clivaje.

Es una propiedad importante pues ayuda a

a) distinguir especies minerales semejantes entre sí que se diferencian fácilmente por esta propiedad (ej. feldespatos y cuarzo).

b) El clivaje materializa algunas direcciones cristalográficas específicas cuando el mineral es anhedro, que pueden correlacionarse con algunas direcciones ópticas (índices) diagnósticos

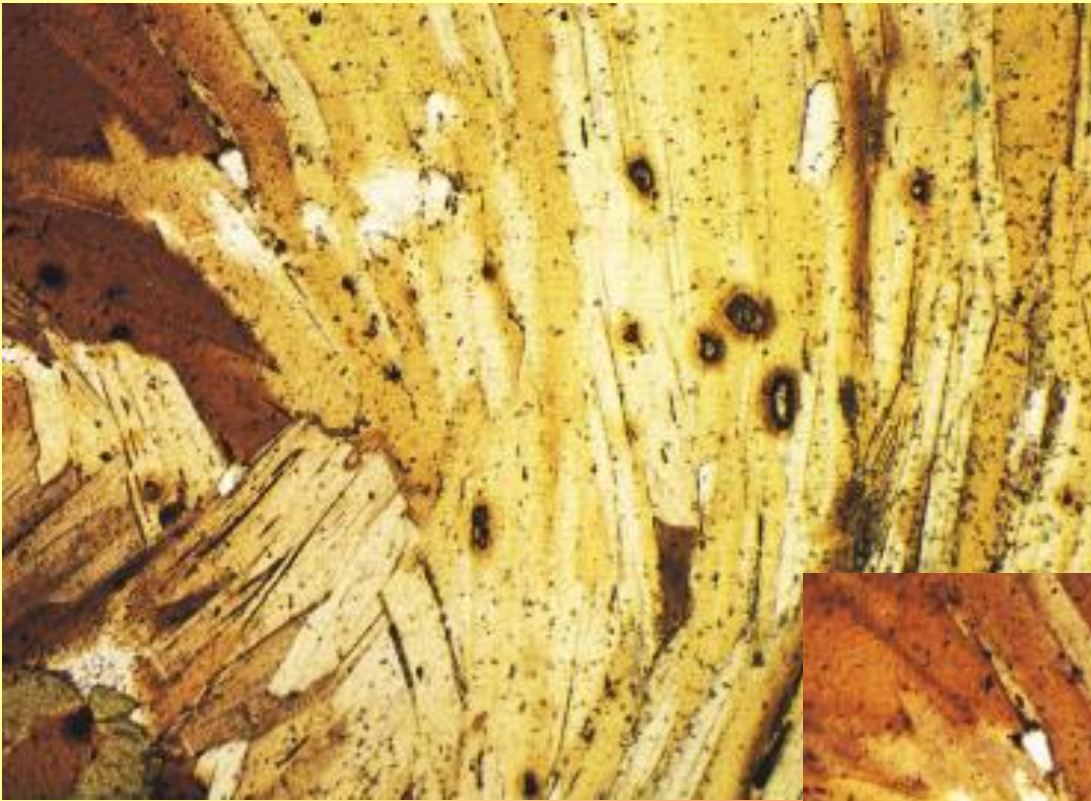
Hay minerales que tienen

- Clivaje en una dirección (ejemplo: *micas*)
- Clivaje en dos direcciones (ejemplo: *feldespatos, piroxenos, anfíboles*)
- Clivaje en tres direcciones (ejemplo: *calcita, halita*)
- Clivaje en cuatro direcciones (ejemplo: *fluorita*)
- Clivaje en seis direcciones (ejemplo: *esfalerita*)

A veces puede ser útil definir el *ángulo de clivaje*, para lo cual se hace uso de los retículos del ocular y de la graduación de la platina.

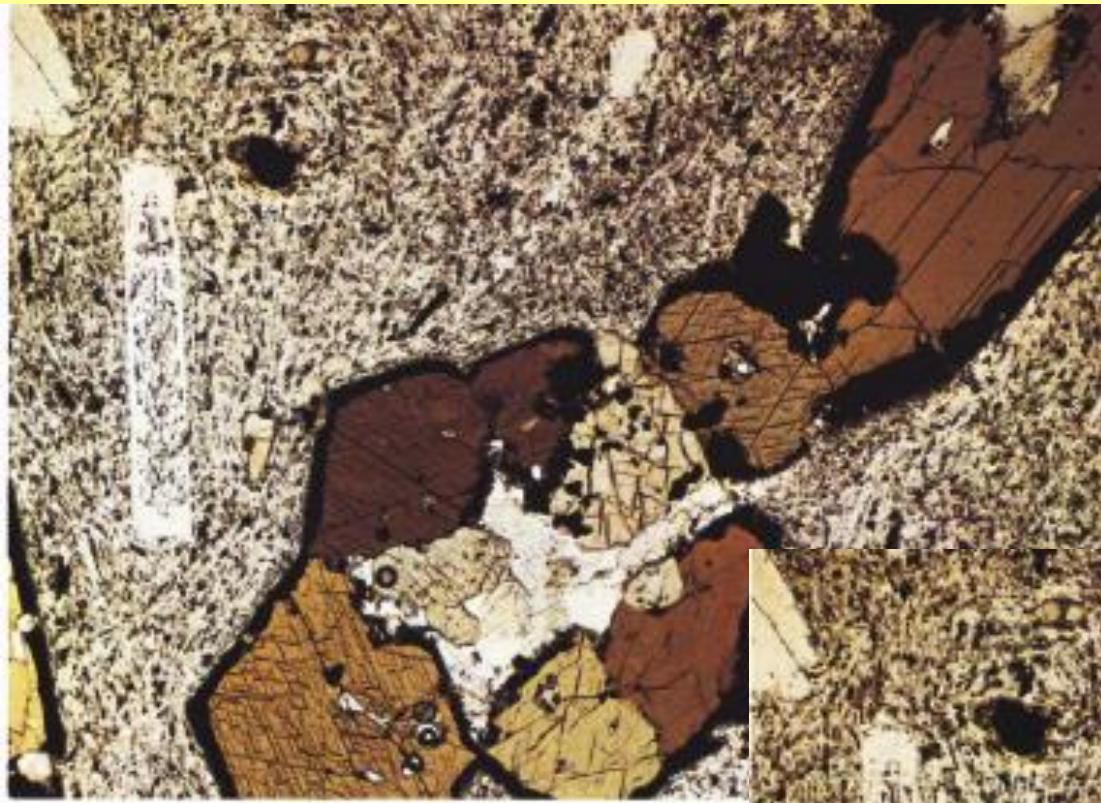
Se hace coincidir una dirección del clivaje con el hilo del retículo (ya sea horizontal o vertical); se lee en la platina el valor angular (**A**). Se gira la platina hasta que la otra dirección de clivaje coincida con el mismo retículo, se lee el nuevo valor angular **B**. La diferencia entre **A** y **B**, es el *ángulo de clivaje*.

Biotita



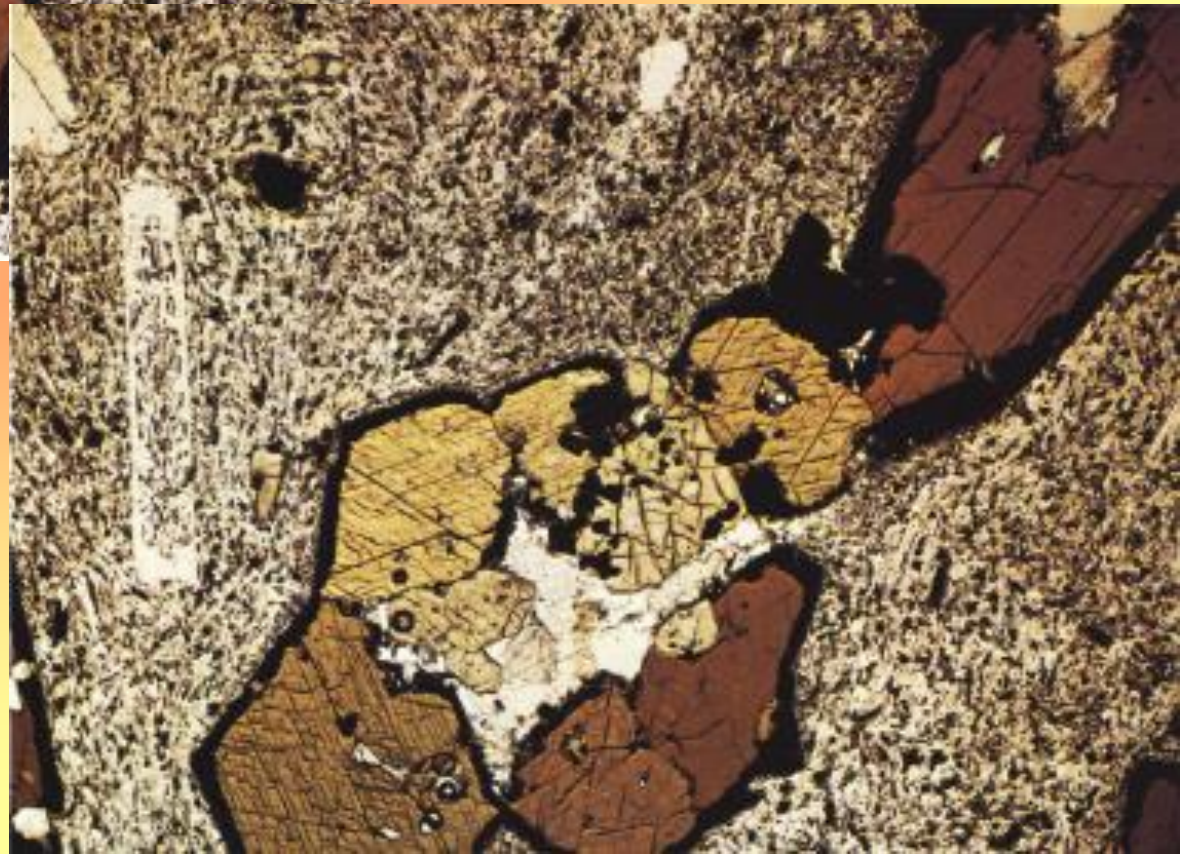
Clivaje en una
dirección (001)

Hornblenda



Clivaje en 2
direcciones

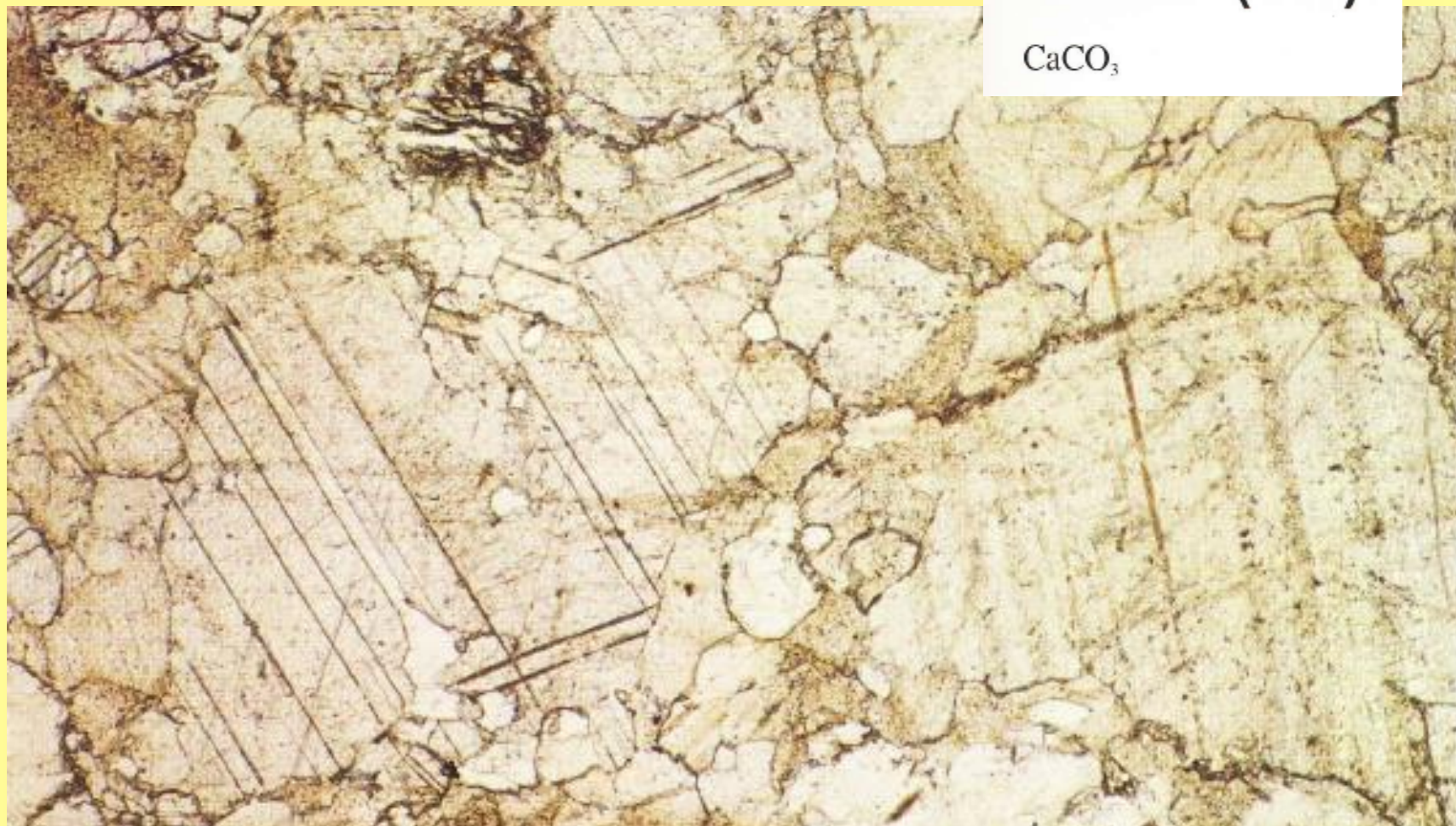
—
(110 y $\bar{1}\bar{1}0$)



Clivaje romboédrico vs formas anhedrales

Calcita (Cal)

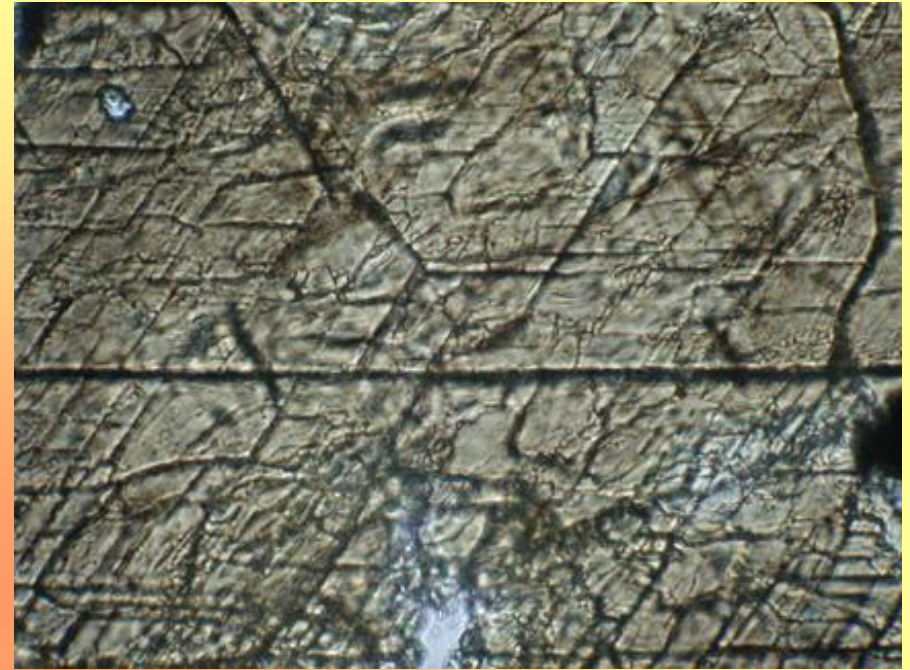
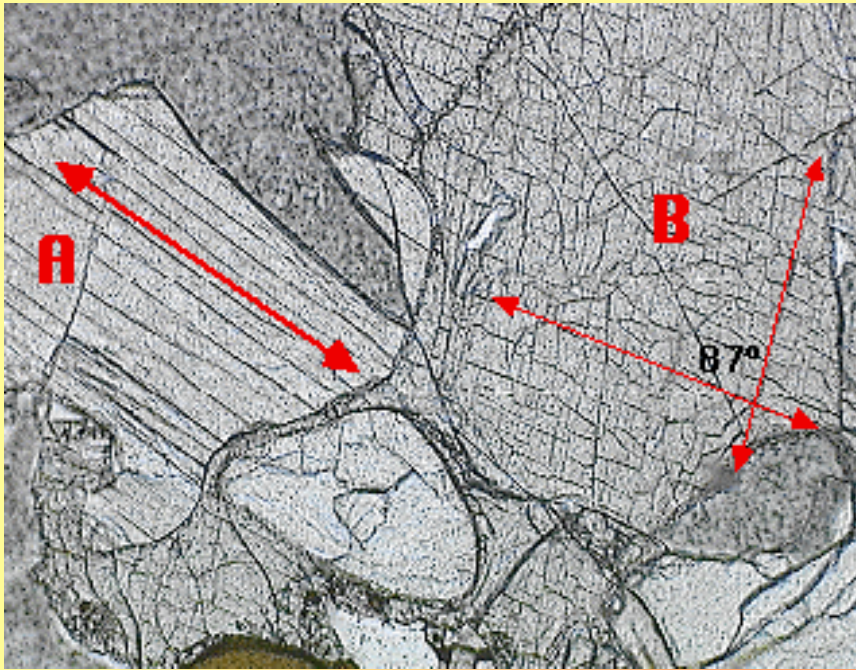
CaCO_3



Sistema cristalográfico = Romboédrico (trigonal).
Uniáxico (-)

IR ϵ = 1,486 (calcita pura)-(1,550)

ω = 1,658-(1,740)



Piroxenos

$\bar{1}10$ $1\bar{1}0$
87°

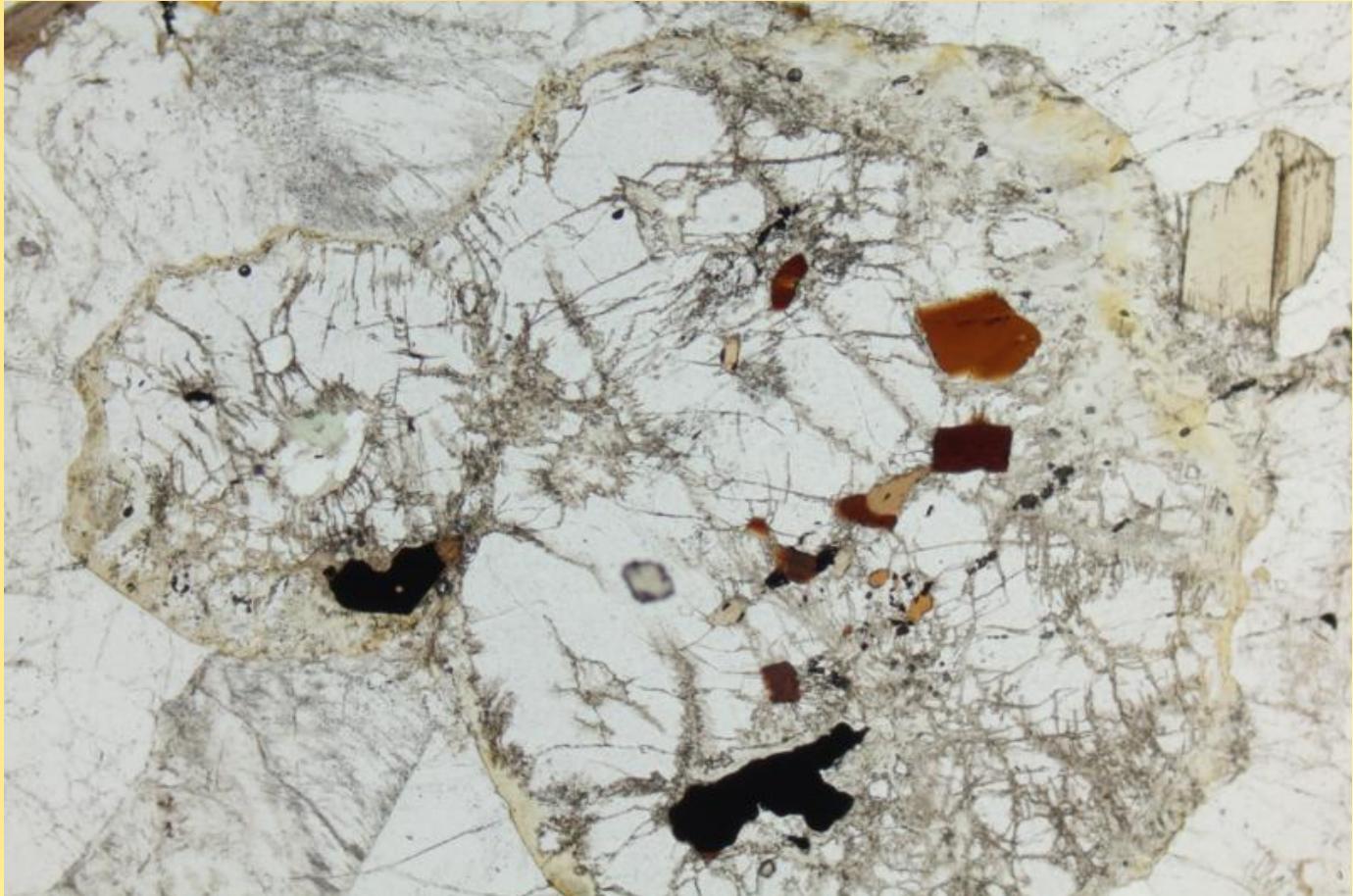
Anfíboles

$\bar{1}10$ $1\bar{1}0$
124°

A- Sección “prismática”: 1 solo clivaje

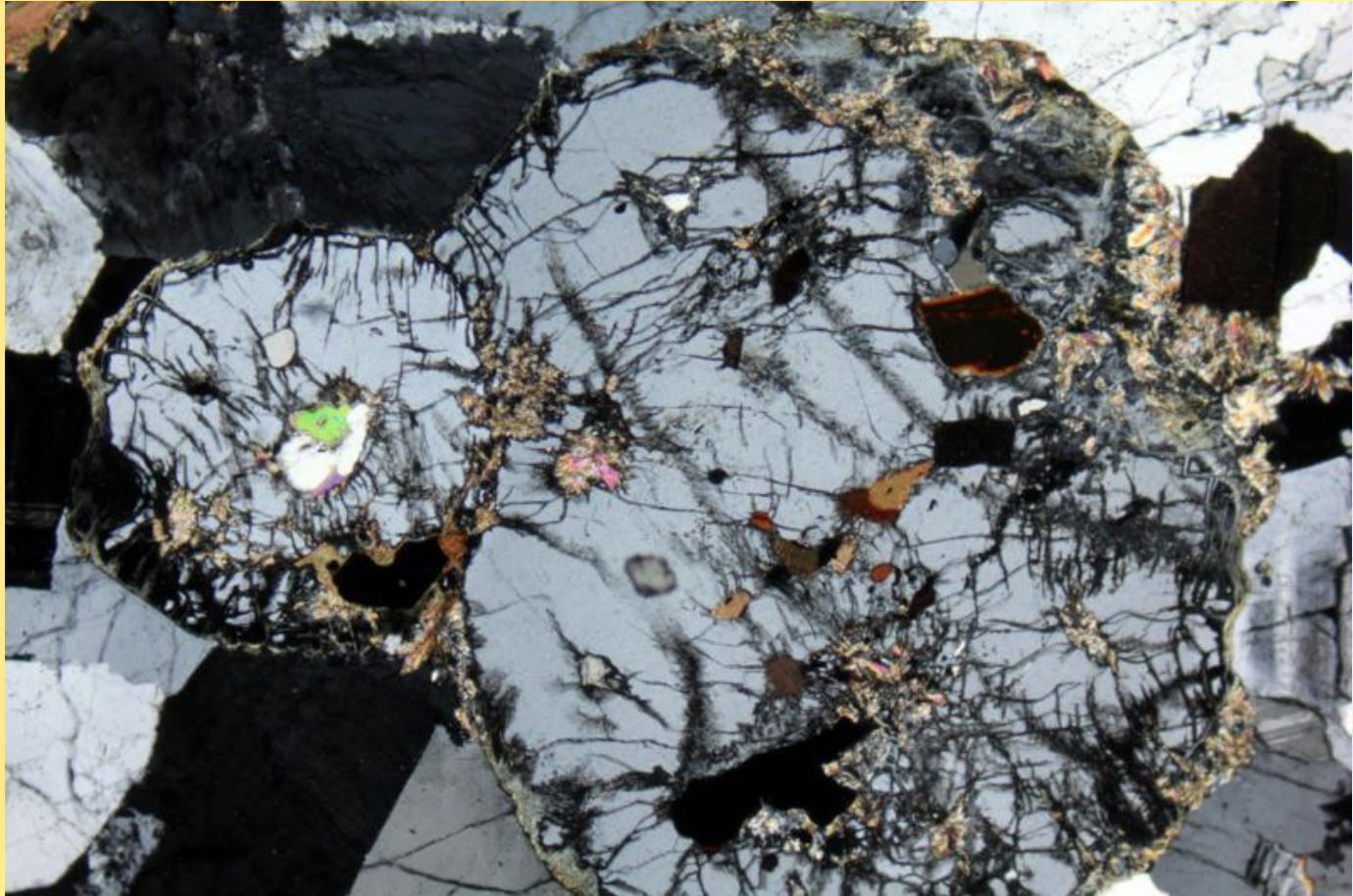
B- Sección “basal”: 2 clivajes

Fractura/Parting: a veces los minerales no tienen clivaje, pero la fractura o *parting* que desarrollan pueden ser diagnósticos.



Ejemplo: cordierita – Fractura “en sutura” por alteración pinítica (clorita+ muscovita) de la superficie rota

Fractura/Parting: a veces los minerales no tienen clivaje, pero la fractura o parting que desarrollan pueden ser diagnósticos.



Ejemplo: cordierita – Fractura “en sutura” por alteración pinítica (clorita+ muscovita) de la superficie rota

Bibliografía

- BLOSS, F.D., 1994. Introducción a los Métodos de Cristalografía Óptica. 5. Ed. Barcelona: Omega, 1994._ 322 p._ ISBN: 8428202478
- KERR P. F. 1972. Mineralogía Óptica. Madrid: Castilla, 1972. 433 p.
- KERR, Paul F. 1977. Optical mineralogy. 4 ed._ New York: McGraw-Hill. 492 p. (ISBN 0-07-034212-0)
- MACKENZIE W. S. y C. GUILFORD, 1992. Atlas de Petrografía. Minerales formadores de rocas en lámina delgada. Edit. Masson. Barcelona. (pdf)
- NESSE, William D., 2004. Introduction to optical mineralogy. 3.e. . New York: Oxford University Press, 2004. 340 p._ ISBN 0-19-510691**
- PERKINS, Dexter;-HENKE, Kevin R. 2004. Minerals in thin section._ 2.ed. New Jersey: Pearson, 2004 163 p.: il. ISBN 0-13-142015-1**
- PHILPOTTS, Anthony R., 1989. Petrography of igneous and metamorphic rocks._ Illinois: Waveland Press, 1989. 178 p. ISBN 1-577666-295-4