

ISSN - 0120 - 1425

BOLETIN GEOLOGICO



MANUAL DE MINEROLOGÍA ÓPTICA

Por
Grabiél Paris Q.

Volumen 26 No. 1, pp 1 - 110 - 1983
Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 - 1425

Bol. Geol.
Ingeominas

BIBLIOTECA
REGISTRADO

BOLETIN
GEOLOGICO



ISSN - 0120 - 1425



MANUAL DE MINERALOGIA OPTICA

Por:

GABRIEL PARIS O.

Volumen 26 No. 1, pp. 1 - 110 - 1983
Bogotá - Colombia
ISSN - 0120 - 1425

Bol. Geol.
Ingeominas

REPUBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA
Carlos Martínez Simahan, Ministro

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLOGICO - MINERAS
Alfonso López Reina, Director General

MANUAL DE MINERALOGIA OPTICA

Informe No. 1828

Por:

GABRIEL PARIS O.

Derechos Reservados por:

INGEOMINAS: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras
Diagonal 53 No. 34-53, Apartado Aéreo No. 4865
Bogotá, 2, D. E., Colombia S. A.

El Boletín Geológico se publica en tres (3) números cada año.

Formato de publicación 17 x 24 cm

Precio de cada ejemplar:	En Ingeominas	\$ 200.00 (US \$ 5.00)
	Vía Aérea	\$ 250.00 (US \$ 6.50)

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	7
2. NOCIONES SOBRE LA LUZ POLARIZADA	7
3. REFRACCION E INDICE DE REFRACCION	7
4. PRISMA DE NICOL-POLARIZADORES	8
5. INTERFERENCIA CON NICOLES CRUZADOS	9
6. COLORES DE INTERFERENCIA	11
7. EXTINCION	12
8. DIRECCION DE VIBRACION DE LOS RAYOS LENTO Y RAPIDO	12
9. ELONGACION	13
10. DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION	13
10.1. METODO DE ILUMINACION CENTRADA. LINEA DE BECKE	14
11. RELIEVE	15
12. DETERMINACION DE LA BIRREFRINGENCIA	15
13. CONCEPTO GENERAL DE INDICATRIZ	16
14. INDICATRIZ UNIAXICA	16
14.1. DIRECCIONES Y SECCIONES CENTRALES	17
14.2. FIGURAS DE INTERFERENCIA UNIAXICA . ISOGIRAS	18
14.3. DETERMINACION DEL SIGNO OPTICO	20
15. INDICATRIZ BIAXICA	21
15.1. EJES OPTICOS	23
15.2. ANGULO 2V	23
15.3. SIGNO OPTICO	24
15.4. ORIENTACION CRISTALOGRAFICA DE LA INDICATRIZ BIAXICA	24
15.5. FIGURAS DE INTERFERENCIA BIAXICA	26
15.5.1. SUPERFICIES DE IGUAL RETARDO, ISOCROMAS	26
15.5.2. ISOGIRAS	26
15.6. EL ANGULO 2V - MEDICION	26
15.7. DETERMINACION DE B _{xa} Y B _{xo}	30
15.8. DETERMINACION DEL SIGNO OPTICO	30
16. DIAGRAMAS DE ORIENTACION	30
16.1. UTILIZANDO SECCIONES OPTICAS CARACTERISTICAS	30
16.1.1. SECCION CON EL MENOR COLOR DE INTERFERENCIA	30
16.1.2. SECCION CON EL MAYOR COLOR DE INTERFERENCIA	31
16.2. UTILIZANDO SECCIONES CRISTALOGRAFICAS CARACTERISTICAS	34
17. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35
18. ANEXO DE MICROFOTOGRAFIAS DE MINERALES	39
19. TABLAS PARA LA IDENTIFICACION DE MINERALES FORMADORES DE ROCA EN SECCION DELGADA	77

FIGURAS

1. Vibración de la luz ordinaria y de la luz polarizada	7
---	---

	Página
2. Polarización por absorción	8
3. Ilustración del fenómeno de la refracción Aire - Mineral - Aire .	8
4. Desviación y polarización de la luz en un prisma de nicol	9
5. Comportamiento de la luz cuando los planos de vibración del mineral coinciden con las de los polarizadores	10
6. Comportamiento de la luz a través de su paso por el polarizador A, por un mineral anisotrópico M, y por él al analizador C . . .	10
7. a) rayos de luz en fase, al emerger del analizador. b) rayos de luz fuera de fase	11
8. Combinación de ondas producidas por varias diferencias de fase	12
9. a) Extinción recta o paralela. b) Extinción inclinada. c) Extinción simétrica .	12
10. Placas accesorias del microscopio petrográfico	13
11. Método para determinar el fenómeno de compensación o retardo de un mineral	14
12. Dirección de vibración de los rayos lento y rápido con respecto a la longitud mayor del cristal	14
13. Línea de Becke	15
14. Irregularidades en la superficie de la sección delgada que producen el efecto del relieve	16
15. Diagrama que representa la tabla Michel Levy	16
16. Relación entre los índices de refracción de un cristal uniáxico	17
17. Direcciones y secciones centrales en la indicatriz uniáxica .	18
18. Relación de la indicatriz uniáxica con un cristal	19
19. Relaciones de la indicatriz uniáxica y sus direcciones de vibración con la sección de un mineral cortado en tres direcciones (a, b y c)	20
20. Tipos de intersección entre las caras de un cristal uniáxico y su indicatriz	21
21. Figuras de interferencia uniáxica relacionadas con la orientación del eje óptico y la indicatriz .	21

22. Determinación del signo óptico de un cristal uniáxico, con una figura de interferencia de eje óptico centrado, utilizando las placas de yeso, mica y cuarzo; a- b- y c-, respectivamente	22
23. Indicatriz Biáxica	23
24. Relaciones entre el ángulo 2V y la indicatriz	24
25. Indicatriz biáxica y su orientación cristalográfica	25
26. Direcciones de vibración en la indicatriz biáxica	26
27. Situación de las isogiras relacionadas al ángulo de rotación del plano óptico	27
28. Relación entre los ángulo 2V y 2E	27
29. Estimación aproximada del ángulo 2V a partir de la curvatura de las isogiras, con el eje óptico centrado	27
30. Estimación de los valores aproximados de 2V	28
31. Uso del micrometro ocular para medir 2D/2R	28
32. Diagrama para la determinación de 2V ó 2E en las figuras de interferencia	29
33. a) Figura de interferencia biáxica ligeramente descentrada en la posición de extinción. b) Aspecto de la misma figura después de ser rotada un ángulo δ	30
34. Diagrama para determinar V, ángulo entre la bisectriz emergente en el centro del campo visual y un eje óptico	31
35. Determinación del signo óptico en un cristal biáxico de bisectriz aguda, mediante el uso de las placas de yeso, mica y cuarzo	32
36. Determinación del signo óptico en un cristal biáxico en una figura de eje óptico centrado, mediante el uso de las placas de yeso, mica y cuarzo	33
37. Uso de la figurabiáxica de eje óptico para determinar al posición de Y y de P.O.A	34
38. Ejemplo que muestra como se construye un diagrama de orientación	34
39. Determinación de la posición de X, Y y Z en una figura de bisectriz centrada, utilizando una placa accesoria	37
33. Tablas para la identificación de minerales formadores de roca en sección delgada	77

SIMBOLOS UTILIZADOS EN EL TEXTO

I. R.	Indice de refracción.
n	Indice de refracción de un mineral anisotrópico.
Δ	Retardo.
λ	Longitud de onda.
a, b, c,	Ejes de cristales.
$\alpha, \beta, \gamma,$	Indice de refracción menor, intermedio y mayor en cristales biáxicos.
ω	Rayo ordinario o índice de refracción en cristales uniáxicos.
ϵ	Rayo extraordinario o índice de refracción en cristales uniáxicos.
ϵ'	Rayo o índice de refracción en los cristales uniáxicos, intermedio entre ω y ϵ .
X, Y, Z,	Direcciones de vibración en los cristales biáxicos del rayo más rápido, intermedio y más lento respectivamente; equivale a los índices de refracción.
$2V_x, 2V_z$	Angulo axial óptico en X o Z.
V	Mitad del ángulo axial óptico.
2E	Angulo axial óptico aparente en el aire.
P. O.	Plano óptico
Bxa	Bisectriz aguda.
Bxo	Bisectriz obtusa.
E. O.	Eje óptico.
A. N.	Apertura numérica.
δ	Angulo de rotación de la platina.

* * *

1. INTRODUCCION

El objetivo de este manual es ofrecer las bases fundamentales de la Mineralogía Optica en una forma simplificada y concisa, que facilite entender y aplicar el comportamiento de la luz polarizada en la identificación de minerales anisotrópicos.

La información que se incluye es el resultado de una compilación, extractada y traducida de las obras conocidas de Kerr, P. (1959), Bloss, F. (1970), Phillips, W. (1971) y Shelly, D. (1975), y en parte de notas personales del autor. Las ilustraciones en varios casos han sido reproducidas fielmente de las obras mencionadas anteriormente, y en otros han sido modificadas, complementadas o ideadas por el autor.

En algunos capítulos se trata en forma somera las discusiones detalladas que traen los textos de Mineralogía Optica, por lo tanto se asume que el interesado al utilizar el manual debe conocer los principios básicos de la materia.

El autor agradece al geólogo Carlos Jairo Vesga O. quien tuvo la iniciativa de la elaboración de este manual, y contribuyó a su realización con microfotografías de varios minerales. De igual forma expresa su agradecimiento a los geólogos Jaime Galvis y Gloria Rodríguez, y a las Oficinas Regionales de Ibagué, Medellín y Bucaramanga las cuales facilitaron secciones delgadas con algunos de los minerales que en este trabajo se incluyen.

2. NOCIONES SOBRE LA LUZ POLARIZADA

La teoría actualmente aceptada sobre la naturaleza de la luz es que ella consiste de vibraciones electromagnéticas. De acuerdo con esta teoría, la luz se puede considerar como longitudes de onda que vibran en un número infinito de planos perpendiculares a la dirección de propagación (Fig. 1a, y 1b). Tal es el caso de la luz ordinaria.

La luz polarizada vibra en un solo plano perpendicular a la dirección de propagación (Fig. 1c).

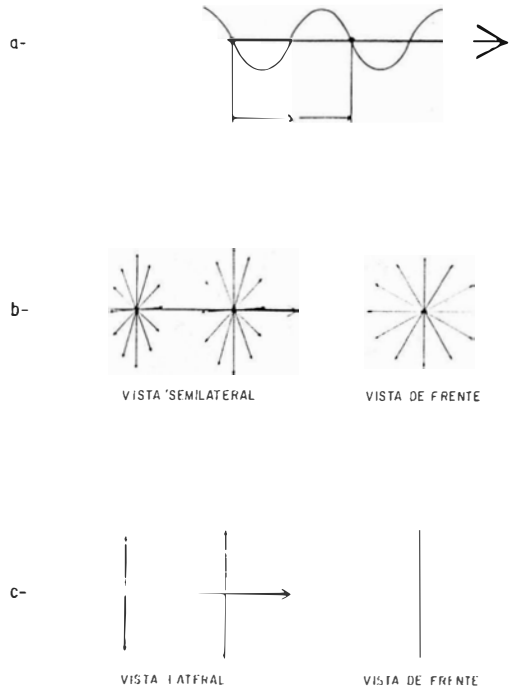


FIG. 1: Vibración de la luz ordinaria y de la luz polarizada. a) Longitud de onda λ de luz. b) Dirección de vibración de la luz ordinaria. c) Direcciones de vibración de la luz polarizada en un solo plano.

Algunos minerales como la turmalina tiene la propiedad de polarizar en forma completa la luz. Un cristal de dicho mineral, cortado paralelo al eje c del cristal (Fig. 2), deja pasar todos los rayos de luz que vibran paralelos a dicho eje (polarizándolos) y absorbe todos los demás rayos que vibran en diferentes direcciones.

La mayoría de los minerales polarizan la luz que pasa por ellos. Tales minerales se llaman ANISOTROPICOS. Los minerales del sistema cúbico no polarizan la luz y se denominan ISOTROPIÇOS.

3. REFRACCION E INDICE DE REFRACCION

Refracción es el fenómeno por el cual un rayo de luz se desvía cuando pasa de una sustancia a otra (Ej: Aire - Vidrio). El índice de refracción de una sustancia, está

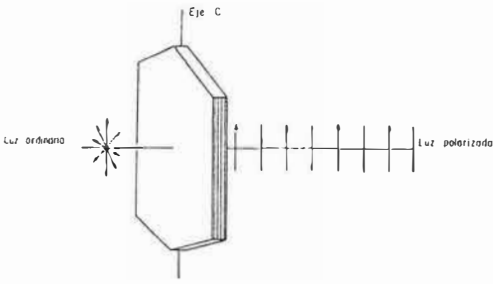


FIG. 2 : Polarización por absorción. Un cristal de turmalina absorbe fuertemente las ondas de luz que vibran en forma perpendicular al eje cristalográfico c y transmite las que vibran paralelas a él (datos modificados de PHILLIPS, W., 1971).

—o—

dado por la relación del ángulo de incidencia y el ángulo de refracción de la luz, que pasa del aire a la sustancia, y está definida por la siguiente ecuación la cual se conoce como la ley de Snell :

$$IR = \frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r}$$

Un rayo de luz que pasa de un medio de menor índice a otro de mayor índice, es refractado hacia la normal de la interface, e inversamente, un rayo de luz que pasa de un medio de mayor índice a otro de menor índice, es refractado hacia afuera de la normal (Fig. 3). El índice de refracción del aire se toma como 1. El índice de refracción de los minerales más comunes varía de 1,43 a 3,22.

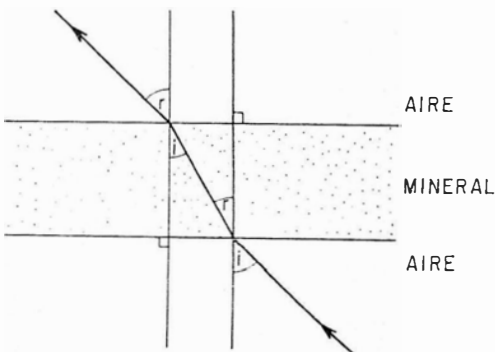


FIG. 3 : Ilustración del fenómeno de la refracción Aire - Mineral - Aire.

Los minerales isotrópicos presentan un solo valor de índice de refracción a diferencia de los minerales anisotrópicos que presentan el fenómeno de la doble refracción o birrefringencia (luz refractada en dos rayos).

La luz refractada en dos rayos vibra en dos planos que son aproximadamente perpendiculares el uno al otro. Uno se denomina al rayo ordinario ω el cual sigue la ley de Snell y el otro es el rayo extraordinario ϵ cuya trayectoria no se puede predecir matemáticamente.

4. PRISMA DE NICOL-POLARIZADORES

El prisma de NICOL en el microscopio petrográfico se basa en el principio de la doble refracción para producir luz polarizada. El ejemplo más ilustrativo de la doble refracción lo presenta la calcita la cual es utilizada en muchos microscopios como material polarizante.

Para construir polarizadores se utilizan cristales de calcita muy puros. Con dichos cristales se construye un prisma hecho de dos mitades cementadas entre sí con BALSAMO DE CANADA (Fig. 4). La luz que entra por la base del prisma se descompone en un rayo ordinario ω y otro extraordinario ϵ . El rayo ordinario ω tiene un índice de refracción n , 1,658. El rayo extraordinario tiene un índice de refracción n , 1,556, considerablemente menor, el cual es muy próximo al índice de refracción del bálsamo n , 1,537. Ambos rayos chocan con el bálsamo cementante en forma oblicua. La oblicuidad del rayo ordinario excede el ángulo crítico entre el rayo ordinario y el bálsamo y por lo tanto no es reflejado en el bálsamo, sino que se refleja hacia un lado del prisma. Como el rayo extraordinario no excede el ángulo crítico entre el rayo extraordinario y el bálsamo, pasa a través del bálsamo a lo largo del prisma con poca desviación.

El rayo extraordinario es polarizado dentro de un plano de vibración; por consiguiente la luz que emerge del prisma está constituida enteramente por el rayo extraordinario polarizado.

En este caso se presenta la extinción del cristal.

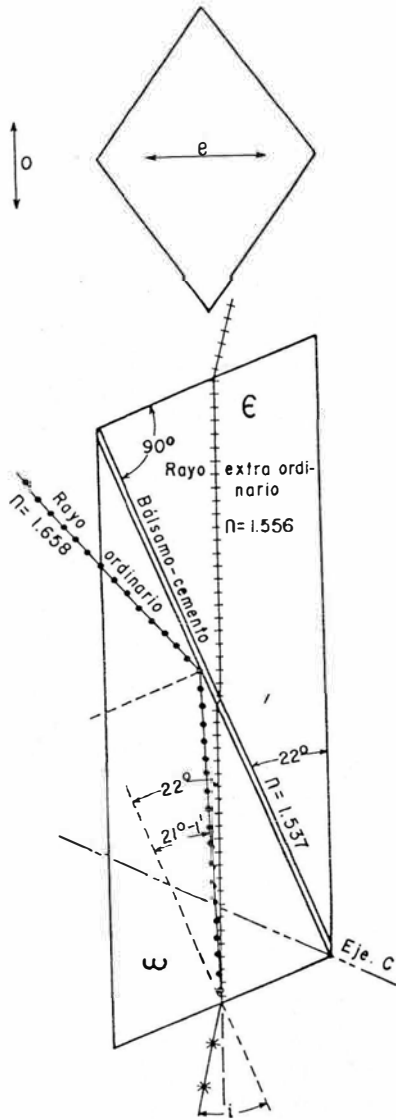


FIG. 4: Desviación y polarización de la luz en un prisma de nicol (datos de KERR, P., 1959).

—o—

5. INTERFERENCIA CON NICOLES CRUZADOS

Cuando la platina del microscopio se rota 360° habrá cuatro posiciones en las cuales los dos planos de vibración del cristal coinciden con las del analizador y polarizador y por lo tanto la luz no será transmitida.

Cuando los prismas de Nicol (o polarizadores) se sobreponen con sus planos de vibración perpendiculares (en ángulo recto) se dice que los nicoles están cruzados. Para realizar los análisis petrográficos los microscopios se utilizan con los nicoles en esta posición. El nicol inferior es conocido como el polarizador y generalmente está fijo. El nicol superior es conocido como el analizador y es removible. Los nicoles cruzados en el microscopio producen oscuridad total cuando la platina no está ocupada con un mineral, o cuando se coloca en ella un mineral isotrópico. En cambio los minerales anisotrópicos producen una serie de colores de interferencia cuando se les observa con los nicoles cruzados.

En la Figura 5 se muestra un mineral anisotrópico con sus direcciones de vibración paralelas a las de los nicoles lo cual impide el paso de la luz.

En la Figura 6 se ilustra la luz polarizada atravesando un mineral anisotrópico. En este caso las direcciones de vibración de la luz en el cristal no son paralelas a las direcciones de vibración en los nicoles. La luz ordinaria O entra al nicol inferior A y emerge vibrando en un sólo plano B. La luz polarizada choca con la superficie inferior del mineral M y se descompone en dos rayos ϵ y ω también polarizados, los cuales vibran en planos perpendiculares entre sí. Cada rayo de luz viaja a diferente velocidad dentro del mineral. Como resultado de este fenómeno, cuando los dos rayos emergen en la superficie superior del cristal, un rayo ha viajado más distancia que el otro. Ambos rayos continúan hacia el analizador C viajando en línea recta y vibrando en planos perpendiculares entre sí. Cuando los rayos entran en el analizador son conjugados por éste en un solo plano de vibración, de tal manera que la luz que llega al ojo vibra en una sola dirección.

Los dos rayos (ϵ y ω) que emergen del analizador vibrando en un solo plano, mantienen una diferencia de fase entre sí, ocasionada por el mineral, por lo tanto los dos rayos están en posición de interferir y ello ocasiona los colores de interferencia.

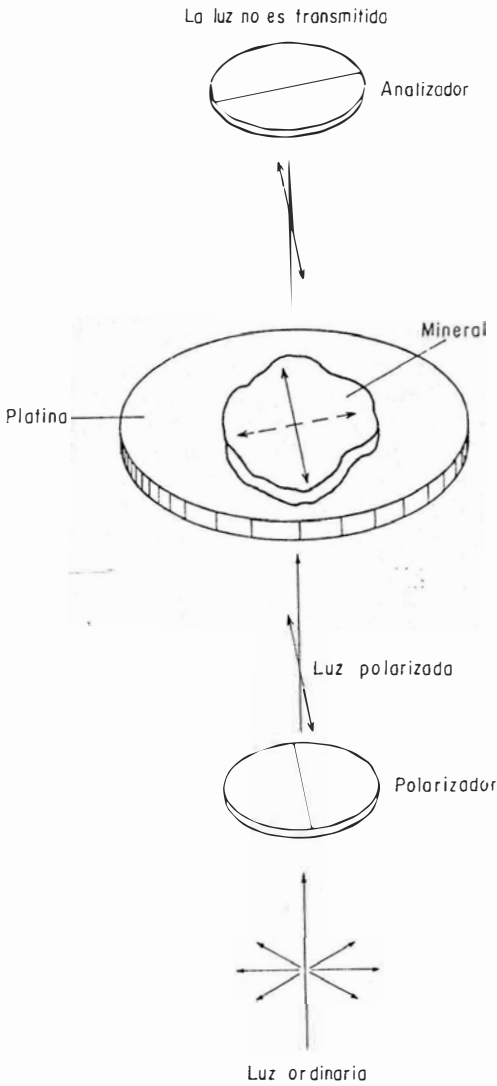


FIG. 5: Comportamiento de la luz cuando los planos de vibración del mineral coinciden con los de los polarizadores. La luz no es transmitida.

Los colores de interferencia producidos, dependen de la naturaleza de la luz y de la cantidad de retardo de un conjunto de ondas con respecto a las otras.

Cuando los dos rayos son fusionados por el analizador en un solo plano de vibración, los rayos se encuentran en fase y se refuerzan mutuamente de tal manera que la luz se puede observar (Fig. 7a). Cuando los

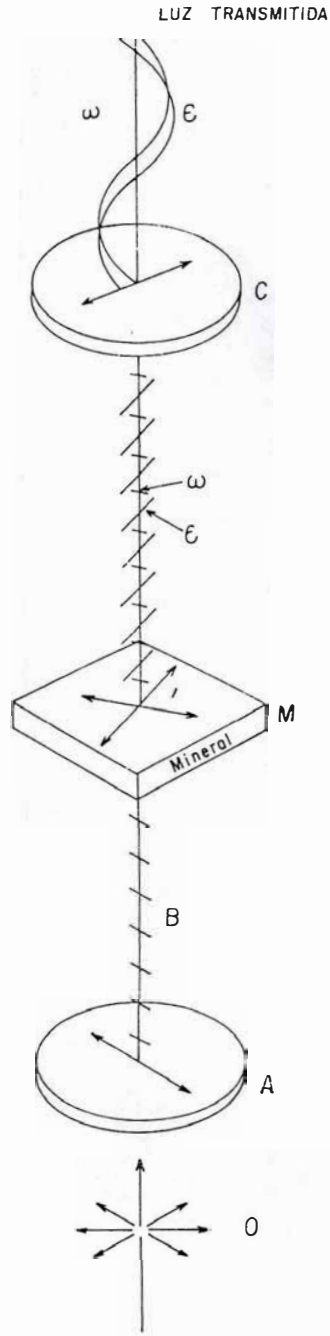


FIG. 6: Comportamiento de la luz a través de su paso por el polarizador A, por un mineral anisotrópico M, y por el analizador C. Las direcciones de vibración de los nicoles no son paralelas a las del mineral y por lo tanto la luz es transmitida.

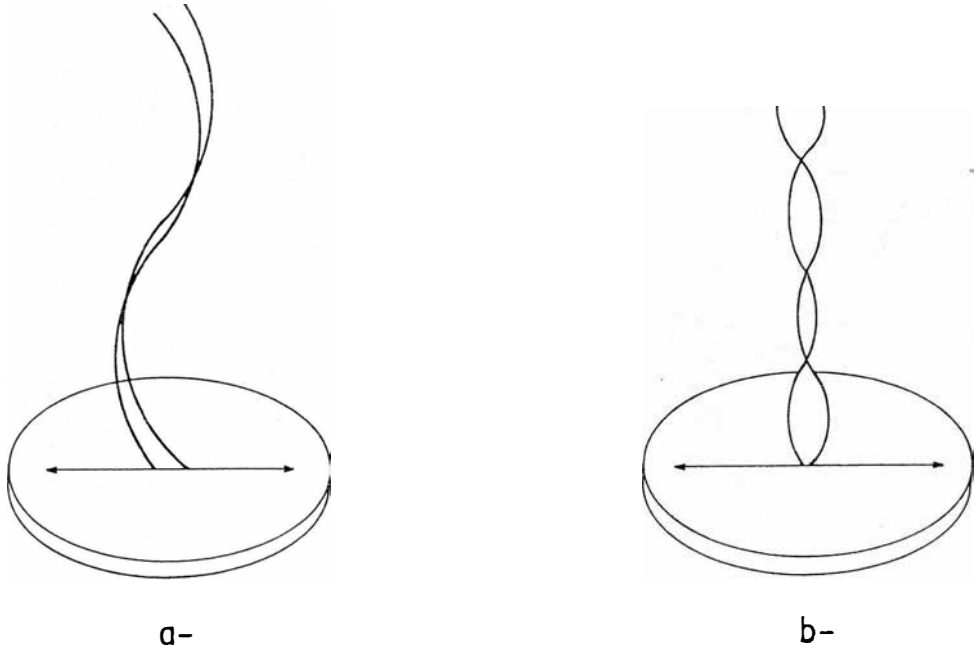


FIG.7: a) Rayos de luz en fase, al emerger del analizador. b) Rayos de luz fuera de fase.

dos rayos se encuentran fuera de fase al emerger del analizador, interfieren, se cancelan mutuamente y la luz no se observa (Fig. 7b). El que los rayos se encuentren en fase o fuera de fase se basa en el hecho de que cada rayo al atravesar el mineral difiere del otro en su longitud de onda. Cada rayo al cruzar la sección, completa un número determinado de longitudes de onda. El número de longitudes de onda por la cual un rayo cae detrás del otro se llama retardo.

El retardo está expresado por medio de la letra griega Δ . El valor de Δ es expresado en milimicrones, las mismas unidades que se usan para medir las longitudes de onda.

El retardo puede cambiar debido a variaciones en el espesor del mineral o en su orientación, de tal manera que cambien los índices de refracción n_1 y n_2 de los rayos que emergen del mineral. Esta relación puede ser expresada por la ecuación (1).

$$\Delta = t (n_2 - n_1) \quad (1)$$

En la ecuación (1), t representa el espesor del mineral expresado en milímetros, n_2 es el índice de refracción mayor y n_1 el índice de refracción menor.

La diferencia de fase P con la cual los rayos emergen del mineral se puede expresar como el retardo dividido por la longitud de onda.

$$P = \frac{\Delta}{\lambda} \quad (2)$$

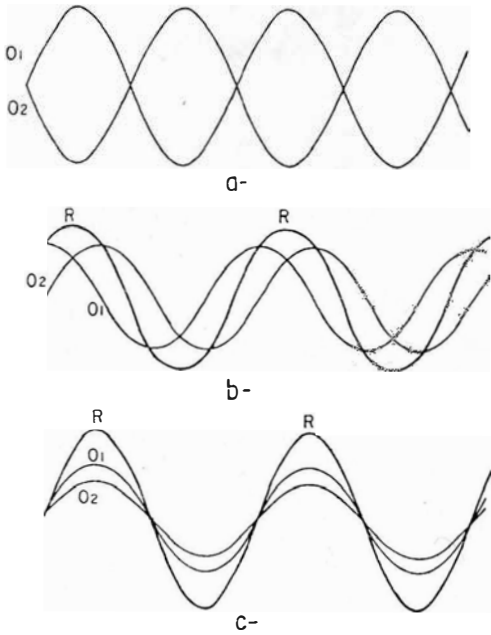
Reemplazando la ecuación 1 en 2 tenemos:

$$P = t \left(\frac{n_2 - n_1}{\lambda} \right) \quad (3)$$

La combinación de ondas producidas por varias diferencias de fase se ilustra en la Figura 8.

6. COLORES DE INTERFERENCIA

Cuando la platina del microscopio se rota en cualquier dirección, el campo se ilumina con colores de interferencia, las cuales varían con el espesor y la natu-



raleza del mineral, con la forma como la sección delgada es cortada, y con la luz empleada. Cuando la luz blanca, que consiste de un espectro de longitudes de onda gradacionales, pasa por un medio anisotrópico entre nicoles cruzados, algunos colores resultantes estarán en fase mientras que otros estarán fuera de fase. Por lo tanto en vez de luz blanca se observarán los colores de interferencia los cuales resultan de la substracción de los "colores fuera de fase" del espectro completo.

7. EXTINCIÓN

Los minerales que poseen doble refracción se ven oscuros con nicoles cruzados, cuando se encuentran en posición de extinción. Con frecuencia los trazos del clivaje o las caras de un cristal permiten determinar el ángulo con el cual se extingue un rasgo cristalográfico de un cristal. Cuando algún rasgo de referencia está ausente no es posible determinar el ángulo de extinción. En la Figura 9 se ilustra la extinción recta o paralela, la inclinada y la simétrica.

FIG. 8: Combinaciones de ondas producidas por varias diferencias de fase

- a) La diferencia de fase es de media longitud de onda, por lo tanto las dos ondas O_1 y O_2 son iguales y opuestas en fase.
- b) Onda resultante (R) producida por dos ondas iguales con una ligera diferencia en trayectoria.
- c) Onda resultante (R) producida por dos ondas de igual longitud e idéntica fase pero que difieren en amplitud (tomada de KERR, P., 1959).

8. DIRECCION DE VIBRACION DE LOS RAYOS LENTO Y RAPIDO

En trabajos de microscopía es importante determinar los planos de vibración de los dos rayos que vibran con ángulo recto en un mineral anisotrópico. Los dos rayos tie-

—0—

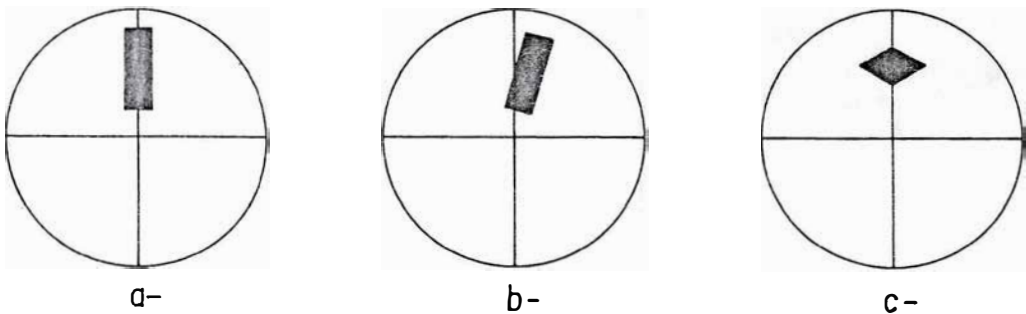


FIG. 9 : a) Extinción recta o paralela. b) Extinción inclinada. c) Extinción simétrica.

nen índices de refracción diferentes, el rayo con el índice mayor es el rayo lento y el rayo con el índice menor, es el rápido. La determinación de la dirección del rayo rápido y del rayo lento se logra con los nicoles cruzados, la ubicación de los dos rayos se establece mediante la observación del mineral en la posición de extinción. Cuando el mineral se oscurece la dirección de vibración de los dos rayos en el mineral es paralela a los planos de vibración de los nicoles. Como los planos de vibración de los nicoles son paralelos a los hilos cruzados del ocular, los planos de vibración del mineral también serán paralelos a los hilos cruzados, en posición de extinción.

Una placa accesoria de mica, de yeso o cuarzo se utiliza para determinar cual de los dos rayos es ligero y cual es lento. Las placas accesorias tienen el rayo lento vibrando en dirección perpendicular a su longitud (Fig.10). El procedimiento es el siguiente: primero coloque el mineral en posición de extinción (Fig.11a), después rote la platina 45° teniendo en cuenta si se hace en la dirección de las manecillas del reloj o en la contraria (Fig. 11b) y determine el color de interferencia producido por el mineral, entonces inserte una placa accesoria (Fig.11c). Si el orden del color de interferencia aumenta (aumenta el retardo), entonces la dirección del rayo lento de la placa accesoria es paralela a la di-

rección lenta del mineral. Si ocurre compensación (el orden del color de interferencia decrece), entonces la dirección lenta de la placa accesoria es paralela a la dirección del rayo rápido del mineral. La determinación de las direcciones de vibración rápida y lenta con relación a diferentes caras de un cristal o a la dirección del clivaje, es muy útil en la identificación de minerales.

La placa de mica se utiliza con minerales que tienen doble refracción débil. La placa de yeso se utiliza con minerales de mayor doble refracción. La placa de cuarzo se debe utilizar cuando el mineral tiene una doble refracción muy fuerte.

Al retardo y la compensación también se conocen como adición y sustracción respectivamente.

9. ELONGACION

Muchos minerales formadores de roca desarrollan hábitos alargados, los cuales pueden ser tabulares, en forma de aguja, en forma de láminas o de cristales largos.

Si dichos cristales son anisotrópicos es posible determinar en ellos la dirección de vibración del rayo lento y del rayo rápido, como anteriormente se trató, por medio de una placa accesoria. En el caso de que la dirección de vibración del rayo lento en el cristal sea paralela a la dirección más larga del mineral, se dice que el mineral tiene elongación positiva o que es largo-lento (Fig. 12a). Cuando la dirección de vibración del rayo rápido del mineral yace paralelo a la longitud mayor del mineral se dice que tiene elongación negativa o que es largo-rápido (Fig. 12b).

10. DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION

Existen varios métodos para determinar el índice de refracción de los minerales, entre los cuales se encuentran el uso del refractómetro, la utilización de un prisma triangular, los aceites de diferente índice de refracción, y la determinación por medio del

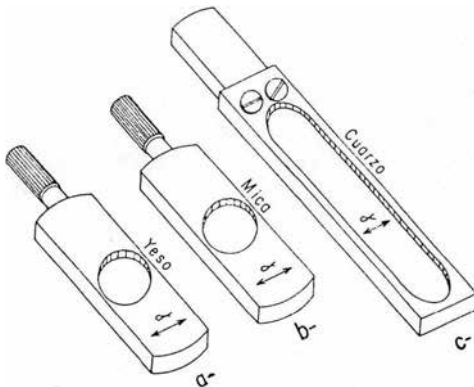


FIG. 10: Placas accesorias del microscopio petrográfico. El rayo lento vibra perpendicular a la longitud de la placa.

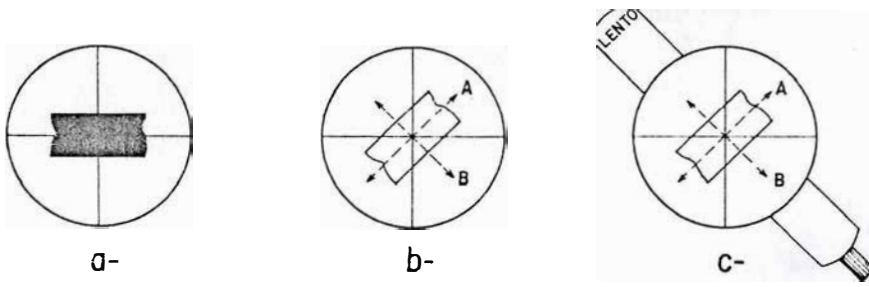


FIG. 11: Método para determinar el fenómeno de compensación o retardo de un mineral. a) Posición de extinción. b) Giro de 45°. c) Uso de la placa accesoria.

—o—

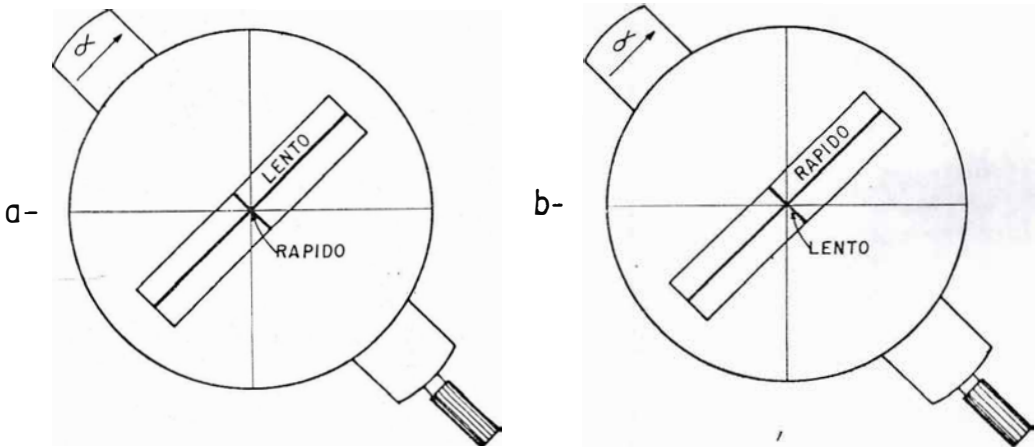


FIG. 12: Dirección de vibración de los rayos lento y rápido con respecto a la longitud mayor del cristal. a) Largo lento. b) Largo rápido.

microscopio. En el presente trabajo se tratará únicamente el último método mencionado.

10.1. METODO DE ILUMINACION CENTRADA. (Línea de Becke)

El método se puede aplicar a secciones delgadas de minerales transparentes para comparar sus índices de refracción relativos, con minerales adyacentes o con el bálamo. El fenómeno utilizado en el experimento depende de la reflexión total de la luz, que incide con un ángulo mayor que el crítico,

cuando pasa de un mineral de mayor índice a uno de menor índice en una sección delgada. Para realizar el ensayo se debe utilizar en el microscopio un aumento de por lo menos 80 o mayor y con el diafragma parcialmente cerrado.

La luz llega a la sección delgada desde la parte inferior y es transmitida a través de ambos medios (cristal-cristal o cristal-bálamo). En la superficie de contacto tienen lugar los fenómenos de reflexión y de refracción, y una porción del rayo de luz es desviado hacia uno u otro lado, dependiendo

de los índices de refracción de los medios adyacentes. Si los dos índices llegaren a ser los mismos, la refracción no se presenta. En caso de que el índice de refracción del uno sea mayor que el otro, la luz en algún lugar, chocara la superficie de contacto entre los dos medios con un ángulo mayor que el ángulo crítico, y una porción del chorro de luz será deflectada hacia el mineral de mayor índice de refracción. Si el lente objetivo y la platina se alejan entre sí, el halo de luz forma una línea blanca que se desplaza hacia el centro del mineral de mayor índice. Si el objetivo y la platina se acercan el efecto será el inverso. (Fig. 13). El halo de la luz en cuestión se denomina la línea de Becke.

Como el índice de refracción del bálsamo es conocido (1,537) los minerales pueden ser rápidamente divididos en dos grupos, unos con el índice mayor que el bálsamo y otros con el índice menor que él.

11. RELIEVE

El efecto del relieve bajo el microscopio está dado por las irregularidades que presentan las secciones delgadas y por la diferencia de los índices de refracción de los medios en contacto.

Los límites entre los granos adyacentes por lo general no son verticales y pueden ser escalonados o curvados. La superficie superior e inferior no es completamente pulida

sino cavernosa y acanalada hasta cierto punto, como se muestra en la Figura 14.

Cuando existe una diferencia en el índice de refracción entre el mineral y el cemento estas irregularidades concentran y esparcen la luz por reflexión y refracción. El efecto resultante da la impresión de un relieve tridimensional.

Si la diferencia en índice de refracción es pequeña, las irregularidades serán escasamente visibles y el mineral tendrá relieve bajo. Una diferencia notable en el índice de refracción dará como resultado un relieve alto.

El relieve debe ser observado utilizando un objetivo de poder bajo o mediano, se debe remover el analizador, y el diafragma debe estar casi completamente cerrado. La observación del relieve se puede mejorar bajando el condensador del microscopio.

Cuando se observa un mineral con relieve alto, con seguridad se puede decir que tiene un relieve alto, pero si el relieve es bajo bien puede ser mayor o menor que el del bálsamo y por lo tanto es necesario hacer el ensayo de la línea de Becke.

12. DETERMINACION DE LA BIRREFRINGENCIA

La birrefringencia de un mineral en sección delgada es determinada mediante la observación de los colores de interferencia

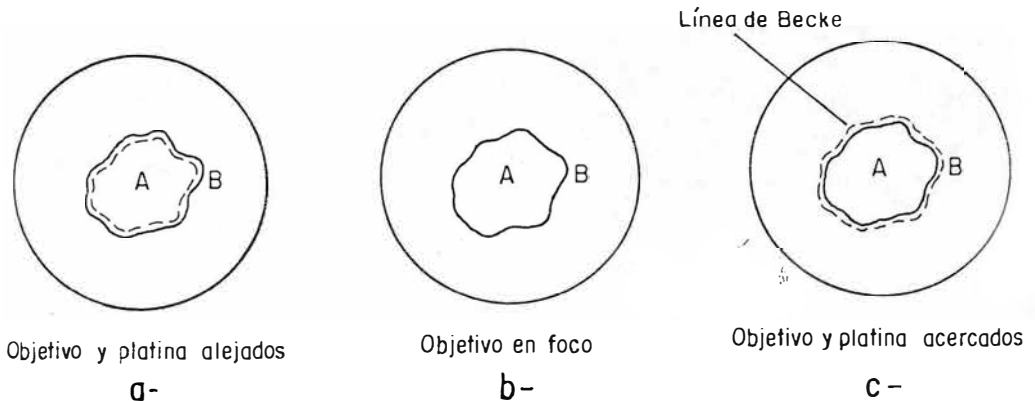


FIG. 13: Línea de Becke. Iluminación centrada. Mineral A, con $n >$ bálsamo B.

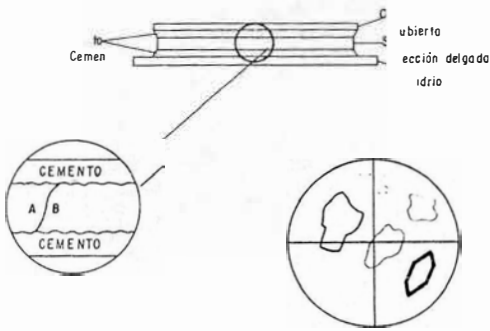


FIG. 14: Irregularidades en la superficie de la sección delgada que producen el efecto del relieve. A la izquierda abajo, parte de la sección ampliada. A la derecha abajo, aspecto de varios granos con diferente relieve.

con nicoles cruzados, dejando completamente abierto el diafragma situado por debajo de la platina, y utilizando un objetivo de poder bajo o moderado. El color de interferencia del mineral se compara con la carta de colores de Michel Levy que está en la mayoría de los libros de Mineralogía Óptica. Básicamente la técnica involucra la determinación del espesor de la sección delgada y el color de interferencia.

En la carta de colores el espesor de la placa está dado por las líneas horizontales y el color de interferencia por las divisiones verticales. Para la identificación de un mineral se debe buscar la interferencia verdadera para lo cual se selecciona un mineral que tenga la máxima interferencia, o lo que equivale a la diferencia entre ω y ϵ (cuando el mineral es cortado paralelo a estas direcciones). Como se muestra en la Figura 15, para un mineral con birrefringencia B en una sección con espesor D se pueden observar una serie de granos con colores de interferencia que varían de 1 a 7. Entre todos los granos, el que tenga color de interferencia 7 será el de máxima o verdadera interferencia.

13. CONCEPTO GENERAL DE INDICATRIZ

La indicatriz óptica explica como varía el índice de refracción de un material transparente de acuerdo con la dirección de vibración de una onda luminosa en el mate-

rial. El índice de refracción o los varios índices de refracción de un cristal se pueden considerar como una serie de vectores en número infinito que irradian en todas las direcciones a partir de un punto interior en el cristal. Cada vector es proporcional en longitud, al índice de refracción en el cristal, para la luz que vibra paralela a la dirección de ese vector. La indicatriz es la superficie que forman los extremos de esos vectores.

14. INDICATRIZ UNIAXICA

Los minerales que cristalizan en los sistemas hexagonal y tetragonal se caracterizan por tener dos o tres ejes iguales (eje a) que yacen en un plano, el cual se encuentra en ángulo recto con un eje del cristal de diferente longitud (eje c).

Los índices de refracción dentro de tales minerales reflejan esta característica y por lo tanto son iguales para la luz que vibra en todas direcciones dentro del plano del eje a, pero varía hacia un valor máximo o mínimo para la luz que vibra paralela al eje c. Los vectores que representan la variación del índice de refracción originan lo que se conoce como la indicatriz uniaxial.

La indicatriz uniaxial es un elipsoide cuyos radios son directamente proporciona-

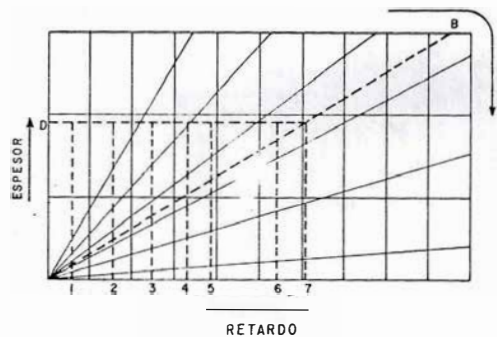


FIG. 15: Diagrama que representa la Tabla de Michel Levy. Colores de interferencia de luz producidos por varios granos de un mineral con birrefringencia B, en una sección delgada de espesor D. (Adaptada de Shelly, D., 1975).

les en longitud, a los índices de refracción del mineral, para la luz que vibra en esa dirección.

Algunos minerales uniáxicos tienen un índice de refracción máximo para la luz que vibra paralela al eje c y éstos se denominan uniáxicos positivos (Fig. 16a), en los cuales por definición ($\epsilon - \omega$) es de signo positivo o sea que ϵ es mayor que ω . Aquellos con un índice de refracción mínimo paralelo al eje c se denominan uniáxicos negativos (Fig. 16b), en los cuales ($\epsilon - \omega$) es de signo negativo (o sea que ϵ es menor que ω). La indicatriz positiva es un elipsoide alargado y la indicatriz negativa un elipsoide achatado.

Las dos direcciones de vibración de los rayos que pasan a través de un mineral uniáxico forman ángulo recto entre sí y a su vez con la dirección de propagación (el tubo del microscopio). Una de las direcciones de vibración siempre se encuentra en la sección circular de la indicatriz o sea en el plano del eje a del cristal. El rayo de

luz con esta dirección de vibración presenta claramente un valor constante de índice de refracción para cualquier mineral y por lo tanto se denomina el rayo ordinario ω . El otro rayo representa un índice de refracción variable, el cual alcanza un valor máximo (uniáxico positivo) o uno mínimo (uniáxico negativo) cuando la luz vibra paralela al eje c, y por lo tanto se llama el rayo extraordinario ϵ . Sin tener en cuenta el signo, solo existe una sección circular en la indicatriz uniáxica, su radio es siempre igual al índice principal ω y está en el plano normal al eje c.

14.1. DIRECCIONES Y SECCIONES CENTRALES

En la indicatriz uniáxica (Fig. 17), la dirección que coincide con el eje c del cristal, se denomina eje óptico. En la indicatriz hay tres tipos de secciones que pasan a través del centro de ella: 1) una Sección Principal, la cual contiene el eje óptico y que corta la indicatriz según una elipse cuyos semi ejes sean iguales a ϵ y ω ; 2) la Sección Circular, la cual es una sección cortada normal al eje

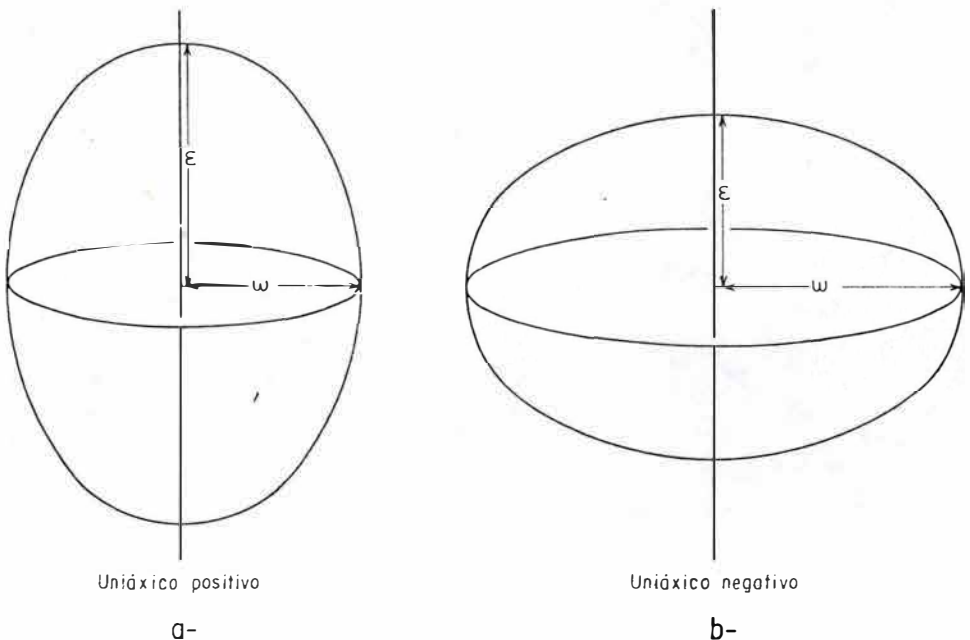


FIG. 16: Relación entre los índices de refracción de un cristal uniáxico. a) Cristal positivo. Indicatriz alargada. b) Cristal negativo. Indicatriz achatada.

óptico; y 3) una Sección al Azar, que es la intersección de la indicatriz con un plano cualquiera que forme con el eje óptico un ángulo cualquiera. Una sección cortada al azar intercepta siempre la indicatriz según una elipse cuyos semi ejes son W y E' .

En la Figura 18 se muestran algunas relaciones de la indicatriz con un cristal cuyo eje c corresponde al rayo ϵ del cristal. Para complementar la ilustración de estas relaciones, en la Figura 19 se muestran tres tipos de sección en minerales uniáxicos, que se pueden encontrar en trabajos de laboratorio. En este caso se ha tomado como ejemplo un cristal de cuarzo que es uniáxico positivo.

En la Figura 19a se muestra el eje c paralelo a la sección del mineral. En este caso la luz es polarizada en dos rayos: uno (ω) el cual tiene una dirección de vibración a lo largo de la línea donde la sección circular de la indicatriz intersecta el plano de la sección del mineral; y otro rayo (ϵ) el cual tiene una dirección de vibración que hace ángulo recto

con ω , es paralelo a la sección del mineral y también paralelo al eje c el cual representa el índice máximo de refracción posible en un mineral positivo. La doble refracción en esta sección es la máxima posible y define la birrefringencia del mineral.

En la Figura 19b se muestra el eje c formando con la sección del mineral un ángulo diferente a 90° . En este caso la luz es polarizada en dos rayos: uno (ω) el cual tiene una dirección de vibración a lo largo de la línea donde la sección circular de la indicatriz intercepta el plano de la sección del mineral; y otro rayo ϵ' , el cual tiene una dirección de vibración que hace ángulo recto con ω pero el cual yace también en el plano de la sección del mineral y representa un valor de índice de refracción intermedio entre ϵ y ω . Por lo tanto solamente una birrefringencia parcial se observa en esta sección.

En la Figura 19c el eje c es perpendicular a la sección del mineral. En este caso especial la luz solamente vibra en la sección circular de la indicatriz y todas las direcciones posibles de vibración representa índices iguales de refracción. El resultado de esto es que la luz no es refractada doblemente y pasa a través del mineral con la dirección de vibración del polarizador sin sufrir cambio. Al insertar el analizador, se causa absorción total de la luz y la sección aparecerá negra en cualquier posición de rotación de la platina. La única dirección perpendicular a esta sección y paralela al eje c es el eje óptico. El hecho de que solamente hay una sola de estas direcciones da lugar al nombre uniáxico.

En la Figura 20, se muestra de otra manera, la intersección de las caras de un mineral con su indicatriz en forma muy semejante a lo descrito en las figuras de los párrafos precedentes.

14.2. FIGURAS DE INTERFERENCIA UNIAXICA. ISOGIRAS

La figura de interferencia uniáxica es una cruz, la cual se utiliza para determinar el signo óptico de un cristal.

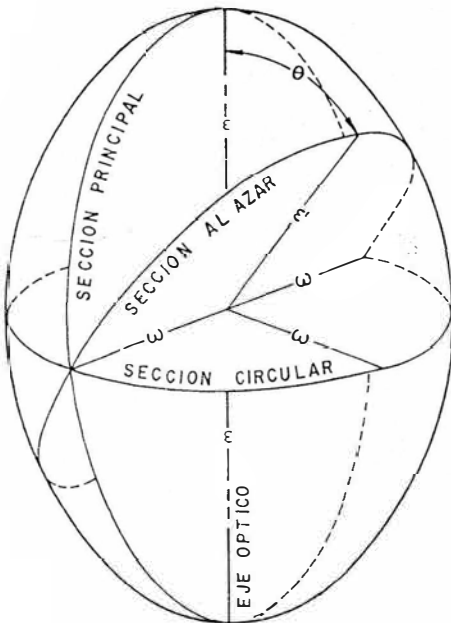


FIG. 17: Direcciones y secciones centrales en la indicatriz uniáxica.

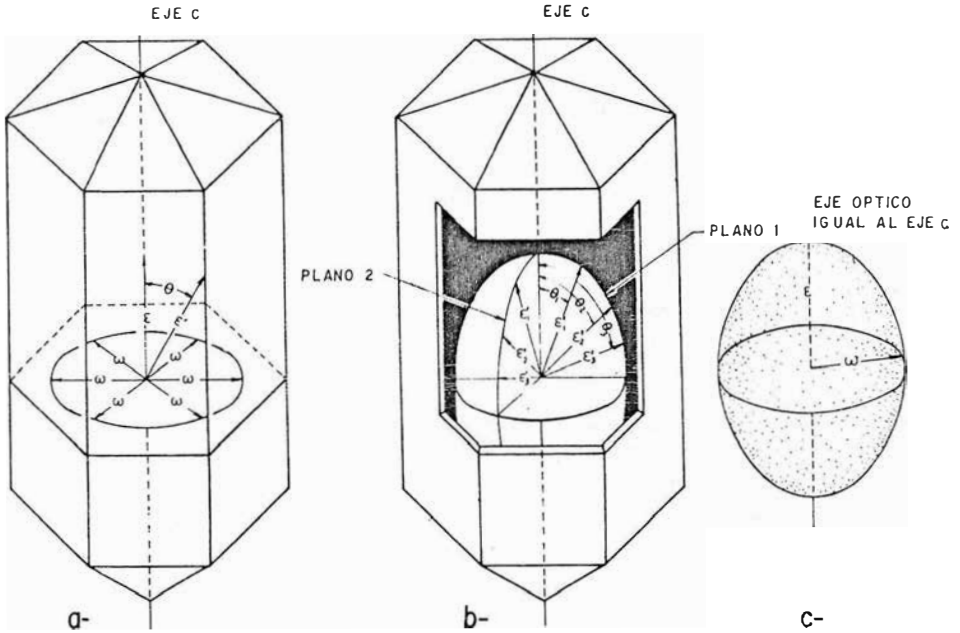


FIG. 18: Relaciones de la indicatriz uniaxial con un cristal. a) Las vibraciones ω yacen en un plano perpendicular al eje c. b) La longitud de los vectores en los planos 1 y 2 indica la variación del índice ϵ del cristal, para la luz que vibra paralela a ellos. c) Indicatriz uniaxial del cristal (Tomada de Bloss, F., 1970).

La figuras de interferencia se producen en los minerales al ser examinados con la luz conosópica, para lo cual se utiliza el condensador que tienen los microscopios. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Insertar en el microscopio el lente condensador auxiliar o bien levantar el lente condensador sencillo que tiene el microscopio.
2. Enfocar con un objetivo de gran poder el mineral o la parte del mineral que se va a examinar.
3. Cruzar los nicoles.
4. Insertar la lente de Bertrand o remover el ocular.

La figura de interferencia que aparece en el campo de vista está gobernada por la orientación del eje óptico de cristal con respecto al plano de corte de la sección del-

gada. En la Figura 21 se muestran algunas variedades de presentación de la figura de interferencia uniaxial según la posición de la indicatriz. Cuando el eje óptico del mineral está completamente vertical la figura de interferencia uniaxial aparecerá centrada en el campo de vista. Cualquier inclinación del eje óptico hará que el melatopo aparezca desplazado del centro del campo de vista. Cuando la platina del microscopio se rota, el melatopo se mueve en un círculo alrededor del centro del campo, en la misma dirección que la platina es rotada. Las isogiras siempre se interceptan en el melatopo y permanecen N-S y E-W; durante una rotación de platina se mueven a un lado y a otro, adelante y atrás, paralelas a los hilos del ocular mientras el melatopo describe su círculo. Una inclinación mayor del eje óptico, hace que el melatopo se desplace aún más, pero mientras el melatopo se mantenga dentro del campo de vista, se puede decir que la figura es de EJE OPTICO y servirá para ver la naturaleza uniaxial de un cristal y determinar su signo

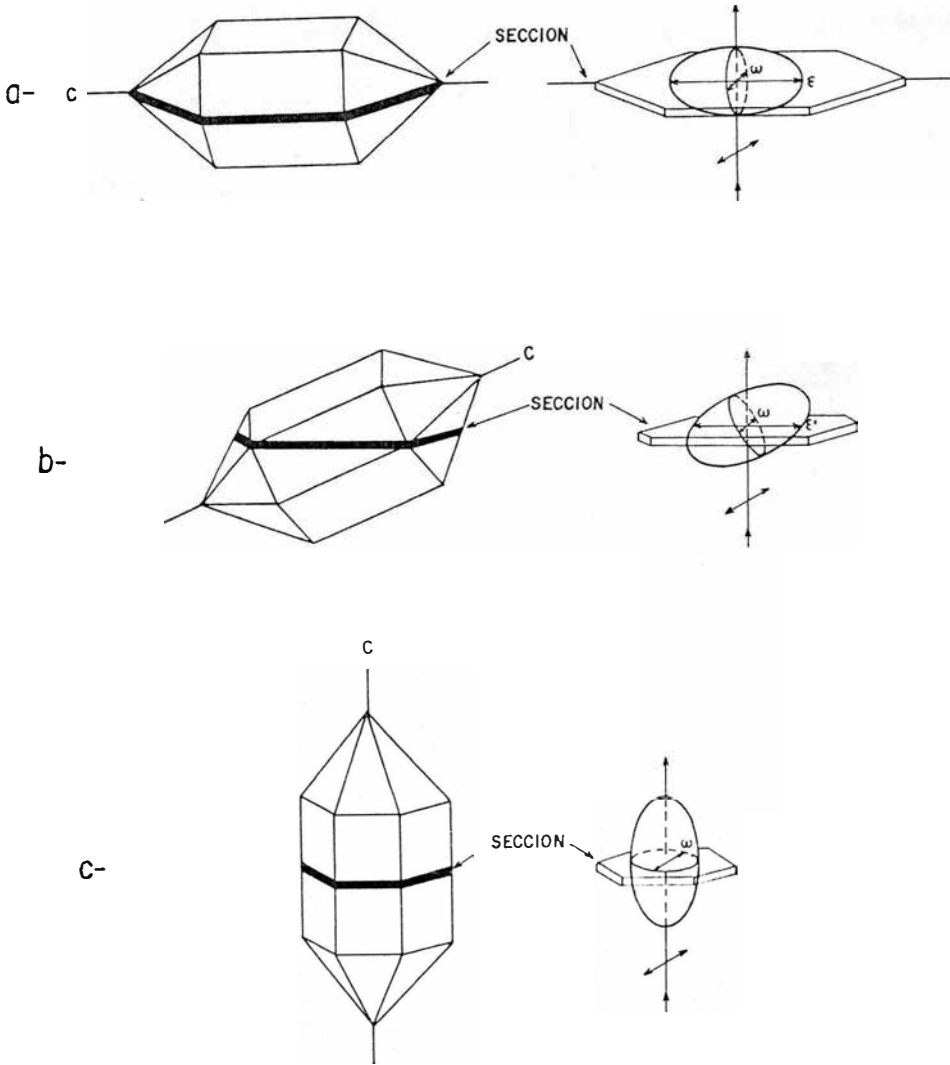


FIG. 19 : Relaciones de la Indicatriz Uniaxica y sus direcciones de vibración con la sección de un mineral cortado en tres direcciones (a, b y c). (Adaptada de Shelly, D., 1975).

—o—

optico. Cuando la inclinación del eje óptico es tal que el melatopo quede por fuera del campo de vista, se dice que la figura de interferencia está fuera del centro. En este caso, solamente se observará un brazo de la isogira en un momento dado. El melatopo describirá un círculo por fuera del campo de vista del microscopio. Cuando el eje óptico del cristal está casi horizontal, se presenta en el campo de vista la figura "Flash", la cual oscurece momentáneamente el campo de

vista por cada 90° de rotación de la platina. Con una ligera rotación se logrará que la oscuridad desaparezca del campo de vista.

14.3. DETERMINACION DEL SIGNO OPTICO

Un cristal uniáxico es positivo si los rayos ordinarios son más rápidos que los rayos extraordinarios, y negativo si los rayos extraordinarios son más rápidos. En la Figu-

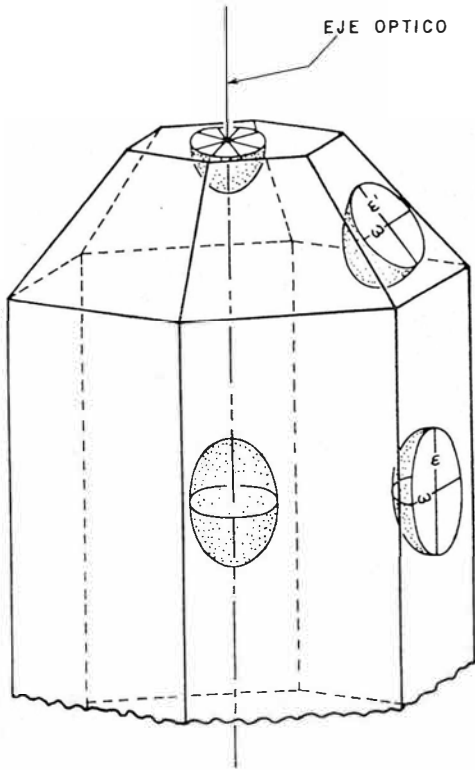


FIG. 20 : Tipos de intersección entre las caras de un cristal uniaxial y su indicatriz (Adaptado de Bloss, F., 1970).

ra 22a, b y c se muestra en forma aplicada la determinación del signo óptico de un cristal uniaxial, con el eje óptico centrado, utilizando diferentes placas accesorias. Para las figuras con el eje óptico no centrado (o que se presentan por fuera del campo visual) debe determinarse el cuadrante de la figura de interferencia en el cual se está trabajando, y se aplican los mismos principios que se indican en la Figura 22. La placa de cuarzo se usa para minerales con birrefringencia alta y la placa de yeso y mica para minerales de birrefringencia moderada y baja.

15. INDICATRIZ BIAXICA

La indicatriz biaxial es un elipsoide de tres radios desiguales que representa las direcciones ópticas de los minerales ortorrómbicos, monoclinicos y triclinicos, todos

ellos caracterizados por tres ejes cristalográficos desiguales. Las tres direcciones ópticas están siempre en ángulo recto a diferencia de los ejes cristalográficos. En el elipsoide triaxial (Fig. 23) el radio más corto y el más largo están contruidos paralelos a las direcciones de vibración de la luz que representa el menor y el mayor índice de refracción (o el rayo más rápido y más lento respectivamente). Estas direcciones de vibración se denominan X y Z respectivamente. El radio intermedio que hace ángulo recto con X y Z se denomina Y. Las direcciones X, Z y Y de

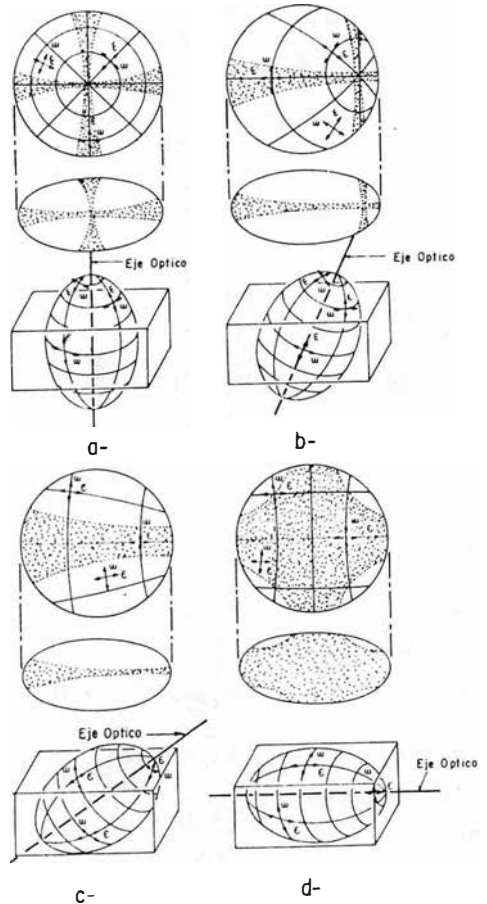


FIG. 21 : Figuras de interferencia uniaxial relacionadas con la orientación del eje óptico y la indicatriz. a) Eje óptico perpendicular a la sección del mineral. b) Eje óptico ligeramente inclinado a la sección del mineral; se observa en el campo de vista. c) Eje óptico con una inclinación tal que no se observa en el campo de vista. d) Eje óptico horizontal. (Tomada de Phillips, W., 1971).

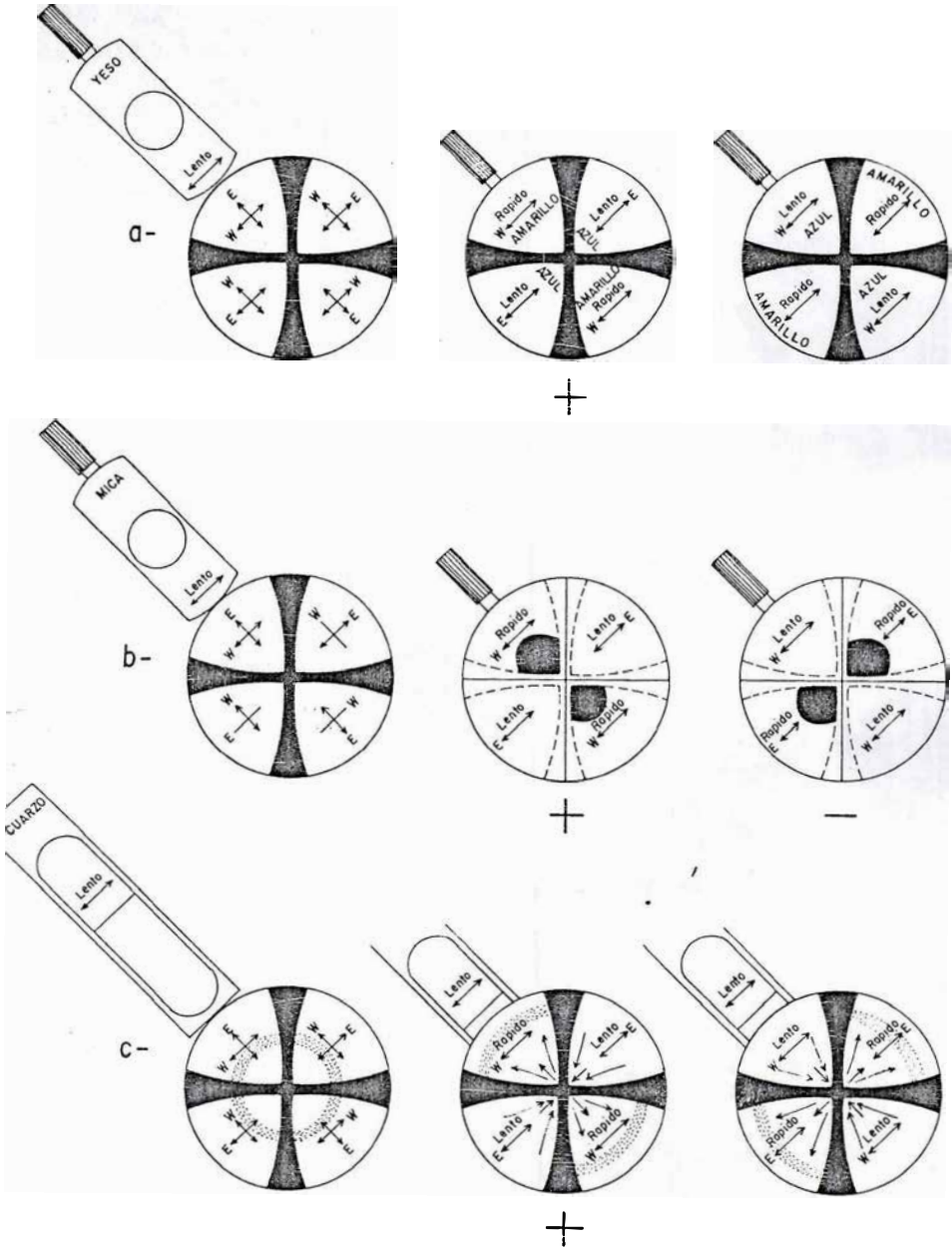


FIG. 22: Determinación del signo óptico de un cristal uniaxial, con una figura de interferencia de eje óptico centrado, utilizando las placas de yeso, mica y cuarzo; a- b- y c- respectivamente.

la indicatriz son proporcionales en longitud a los índices de refracción de la luz que vibra en esas direcciones. Los índices de refracción del cristal cuando la luz vibra paralela a X, Y o Z se denominan α' , β y γ respectivamente.

En los medios biaxiales no existe distinción entre los rayos ordinario y extraordinario, todos los rayos son extraordinarios; α el más pequeño, γ el más grande y β el intermedio.

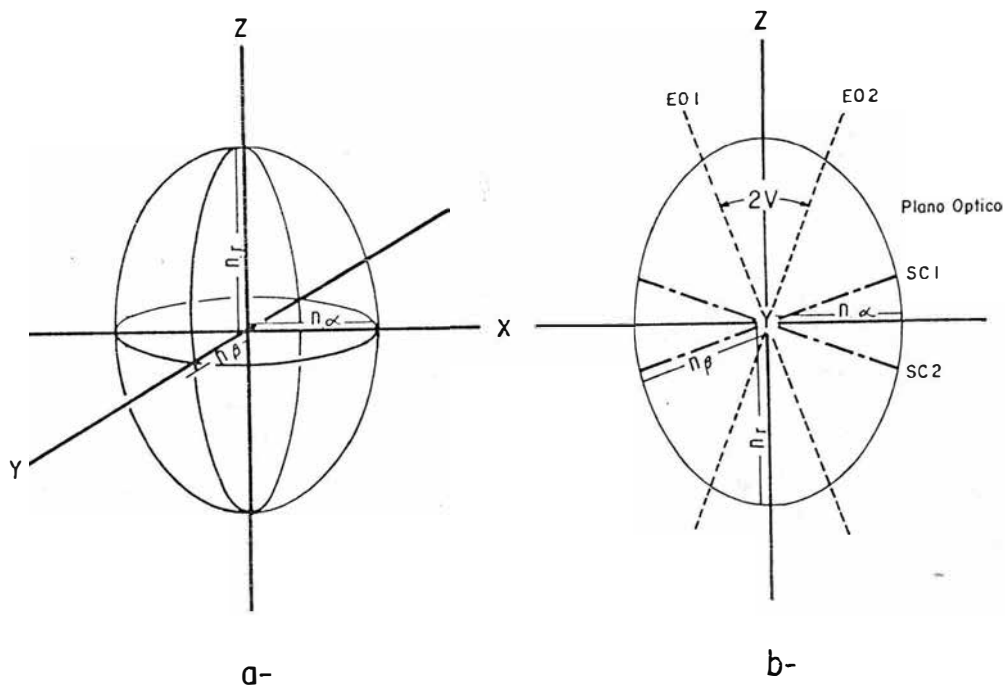


FIG. 23: Indicatriz Biáxica. a) Direcciones de vibración de los rayos X (más rápido), Y (intermedio) y Z (más lento). b) Secciones circulares SC1 y SC2 con sus respectivos ejes ópticos EO1 y EO2.

Entre los ejes cristalográficos (a, b, y c) y X, Y, y Z se presentan las siguientes relaciones para los varios sistemas cristalográficos: minerales ortorrómicos; X, Y y Z son paralelos a a, b y c pero en cualquier orden. Minerales monoclinicos; el plano a-c contiene dos direcciones ópticas, por lo general X y Z, pero ninguno de los ejes a y c es paralelo a cualquiera de las direcciones ópticas. El eje b es paralelo a cualquier otra dirección óptica, por lo general Y. Minerales triclinicos; a, b y c no son paralelos a ninguna de las direcciones ópticas.

En la indicatriz biáxica siempre hay dos secciones que son circulares (Fig. 23) y representan aquellos planos en el cristal a lo largo de los cuales la luz no tiene una dirección de vibración preferida y tiene las mismas características que la sección circular uniáxica. Ambos planos contienen e intersectan Y, son perpendiculares al plano XZ, y son bisectados por X y Z con un ángulo que depende de cada mineral particular.

15.1. EJES OPTICOS

La dirección perpendicular a cada sección circular es un eje óptico a lo largo de los cuales todos los rayos de luz avanzan con igual velocidad. El plano que contiene los dos ejes ópticos es el plano XZ que se ha designado como el plano óptico; la dirección Y, normal al plano óptico se denomina la normal óptica.

15.2 ANGULO 2V

El ángulo agudo de intersección entre los ejes ópticos es el ángulo 2V (Figs. 23b y 24). El término "ángulo axial" se usa con frecuencia para referirse al ángulo, bien obtuso o agudo, entre los ejes ópticos. Las direcciones ópticas X y Z bisectan los ángulos axiales. La dirección (X o Z) que bisecta el ángulo agudo (el 2V) se denomina bisectriz aguda (Bxa), y la dirección (Z o X) que bisecta el ángulo obtuso se denomina

bisectriz obtusa (Bxo). La denominación 2V significa que la mitad del ángulo es V, el cual se representa como V_x cuando se mide en X y como V_z cuando se mide en Z.

15.3. SIGNO OPTICO

Cuando Z es la bisectriz aguda, la indicatriz se define como ópticamente positiva (Fig. 24a); cuando X es la bisectriz aguda, la indicatriz está definida como negativa (Fig. 24b). De lo anterior se deduce que la indicatriz es positiva cuando el valor del índice β es más próximo al de α que el de γ , y negativa cuando β está más cerca a γ .

Cuando el ángulo 2V se aproxima a 90° la definición anterior no tiene validez y tanto la indicatriz como el cristal que ella representa no son ópticamente positivos o negativos sino neutros (Fig. 24 c). Entre más se acerque el ángulo 2V a 90° más grandes serán las dificultades prácticas que se encontrarán en determinar su signo.

15.4. ORIENTACION CRISTALOGRAFICA DE LA INDICATRIZ BIAJICA

Al igual que la indicatriz uniaxial, a la indicatriz biaxial se le debe dar una orientación cristalográfica específica para que sea de alguna utilidad. En términos generales se puede decir que los planos de simetría de la indicatriz (las secciones principales) deben ser paralelas a los planos de simetría cristalográfica desde que ellos existan.

Los cristales ortorrómbicos presentan la máxima simetría de los tres planos de simetría mutuamente perpendiculares, definidos por tres direcciones cristalográficas mutuamente perpendicular a a, b y c. La indicatriz biaxial por lo tanto muestra simetría ortorrómbica, la cual debe ser paralela a aquella del cristal. Las secciones principales deben ser paralelas a los planos de simetría cristalográfica, y las direcciones ópticas deben ser paralelas a las únicas direcciones cristalográficas (Fig. 25a). Con el fin de ajustar la indicatriz con un mineral ortorrómbico dado, se necesita determinar solamente cual de las direcciones ópticas (X, Y y Z) es paralela a cada dirección cristalográfica (a, b o c).

Los cristales monoclinicos no tienen más que un plano de simetría (010) y un eje de simetría, el eje b. Una sección principal de la indicatriz debe ser paralela a un sólo plano de simetría, haciendo que una dirección óptica X, Y o Z coincida con el eje cristalográfico b (Fig. 25b). Para ajustar la indicatriz con un mineral monoclinico dado, se debe determinar cual dirección óptica es paralela a b y establecer una relación angular entre cualquier dirección óptica y otro eje cristalográfico.

Los cristales triclinicos no presentan ningún elemento de simetría fuera del centro de simetría y no se pueden establecer correlaciones entre las direcciones ópticas y cristalográficas. Para un mineral triclinico

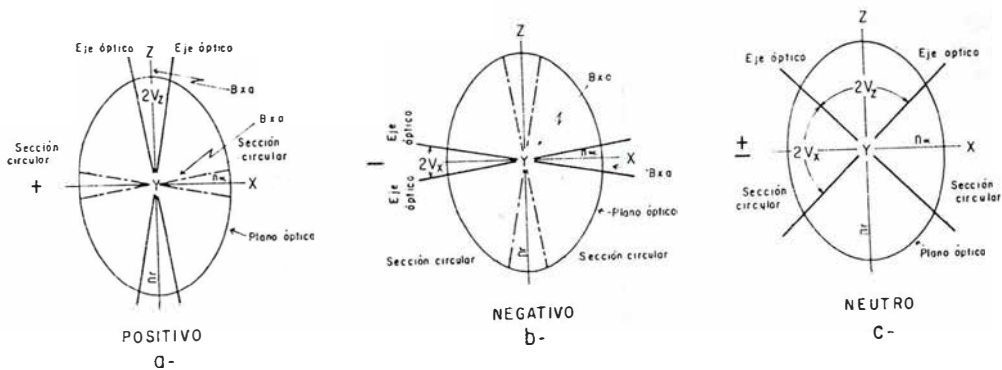


FIG. 24: Relaciones entre el ángulo 2V y la indicatriz. a) Z es la bisectriz aguda. Cristal positivo. b) X es la bisectriz aguda. Cristal negativo. c) Ángulo 2V próximo a 90° Cristal neutro.

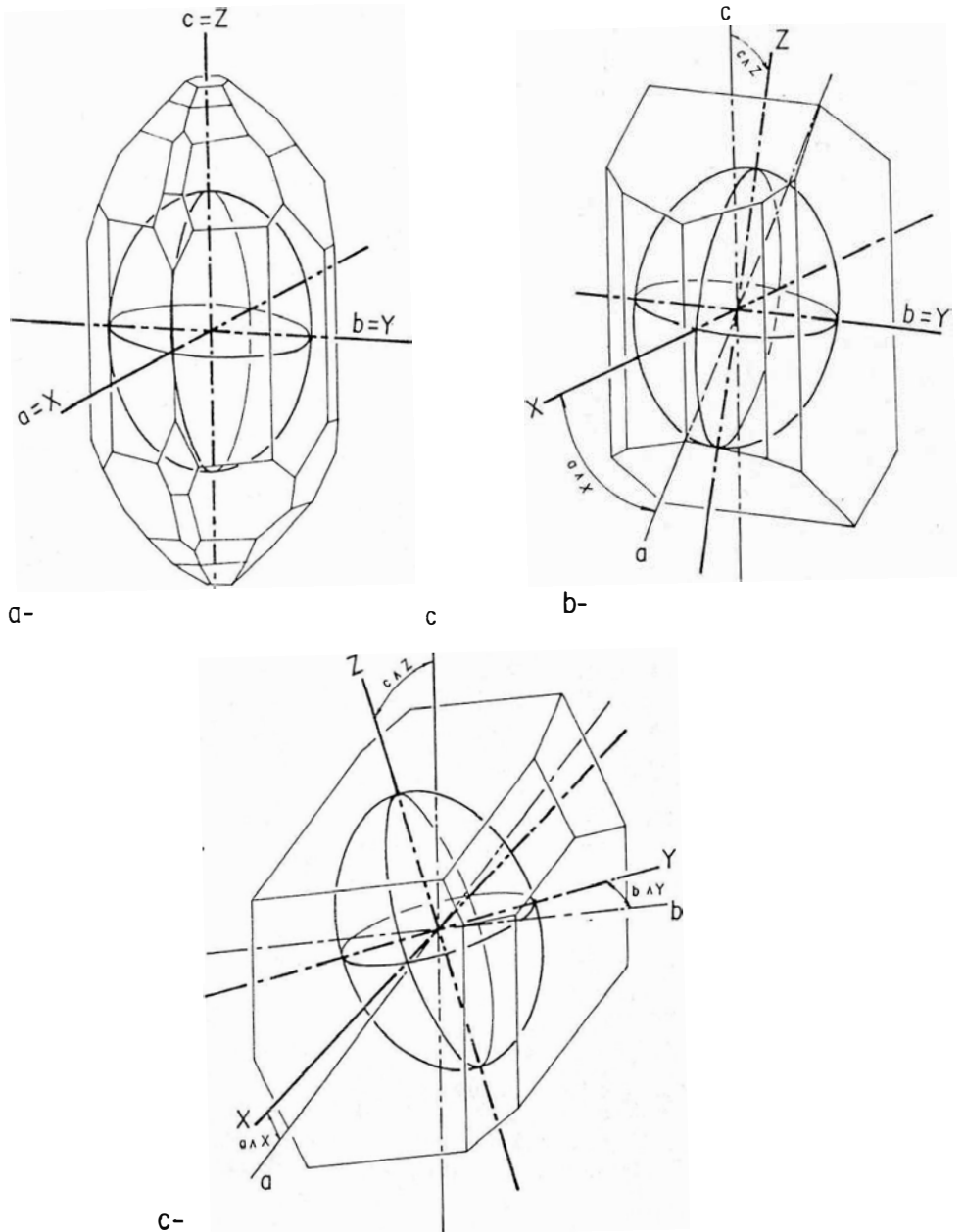


FIG. 25: Indicatriz biáxica y su orientación cristalográfica. a) Simetría ortorrómbica. Las direcciones ópticas son paralelas a las direcciones cristalográficas. b) Cristal monoclínico. Una dirección óptica (X , Y o Z) coincide con el eje cristalográfico b . c) Cristal triclinico. No se presenta correspondencia entre las direcciones ópticas y las cristalográficas (Tomada de Phillips, W., 1971).

dato, se debe establecer una relación angular entre una dirección cristalográfica y su dirección óptica más cercana (Fig. 25c).

15.5. FIGURAS DE INTERFERENCIA BIÁXICA

15.5.1. SUPERFICIES DE IGUAL RETARDO, ISOCROMAS

Las superficies que unen todos los rayos adyacentes que emergen del cristal con igual retardo se conocen como superficie de igual retardo o como superficies de Bertin. La intersección de estas superficies con un plano horizontal paralelo a la superficie superior del cristal, presenta un ejemplo de isocromas visibles en la figura de interferencia biáxica, en la que los rayos que se desplazan según la bisectriz aguda emergen en el centro del campo visual; a este tipo de figura de interferencia se le llama figura de bisectriz aguda centrada. El número y disposición de las isocromas vistas en una figura de bisectriz aguda centrada dependen: 1) del espesor del cristal; 2) de la diferencia entre los índices de refracción de los rayos lento y rápido que se desplazan hacia arriba según la bisectriz aguda; 3) del valor de $2E$; y 4) de la abertura numérica del objetivo que se esté usando.

15.5.2. ISOGIRAS

La manera más simple para entender como se forman las isogiras, o áreas de extinción, de una figura de interferencia biáxica es imaginando que una indicatriz apropiada está centrada en el punto focal del cual parten una serie de rayos divergentes que interceptan la superficie de la indicatriz; luego se construyen una serie de líneas sobre la superficie, que representan las direcciones de vibración de todos los rayos divergentes. En la Figura 26 se muestra una indicatriz, dibujada de tal manera, que cada intersección de líneas representa las direcciones de vibración de dos ondas mutuamente perpendiculares que se mueven a lo largo de un rayo, que parte del centro de la indicatriz hasta el punto de intersección en la superficie.

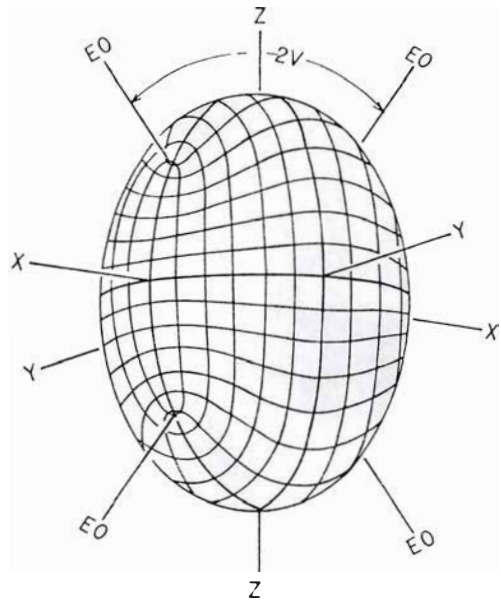


FIG. 26: Direcciones de vibración en la indicatriz biáxica.

Con la indicatriz aguda en el centro de la figura, las líneas que representan las direcciones de vibración aparecen como se muestra en la Figura 27 y las isogiras aparecen donde las direcciones de vibración son N-S y E-W. Cuando el plano óptico está a 45° de la N-S y E-W las isogiras aparecerán como hipérbolas con los melatopos en los puntos de máxima curvatura (Fig. 27a y b), y cuando el plano óptico está paralelo a uno de los hilos del retículo, las isogiras se juntan en el centro del campo para formar una cruz (Fig. 27c y d). Con varias rotaciones de la platina las isogiras se separan, se juntan y de nuevo se separan en cuadrantes opuestos. Los melatopos siempre permanecen igualmente espaciados sobre el trazo del plano óptico, el cual rota con la platina como lo hace la normal óptica y todas las isocromas. Si las isogiras se separan y dejan por completo el campo de vista en la posición de 45° los melatopos quedan por fuera del campo y circunscriben un círculo más allá de los límites visibles, cuando la platina es rotada.

15.6. EL ÁNGULO $2V$ - MEDICION

Las relaciones entre el ángulo $2V$ y $2E$ se muestran en la Figura 28. Para deter-

minar la medida del ángulo $2V$ existen varios métodos tales como el de Mallard, la utilización del mapa de Mertie, el método de Kamb, la estimación directa con una figura de eje óptico centrado, la estimación directa a partir de una figura de bisectriz aguda y el método de Tobi. A continuación se describen algunos de estos métodos a excepción de los tres primeros que requieren trabajos detallados de óptica.

Con el eje óptico centrado se puede medir de un modo aproximado el ángulo $2V$ a partir de la curvatura de las isogiras. El plano óptico en este caso está a 45° de las direcciones de vibración de los polarizadores Figura 29. La estimación directa a partir de una figura de bisectriz aguda está basada en la separación de los melatopos (máxima separación de 45°), que para un ángulo dado $2V$, es función del índice de refracción β y de la constante del microscopio K , la cual depende de la abertura numérica del lente objetivo. En la Figura 30 se ilustran algunos ejemplos, ya que un cálculo preciso para cualquier caso está basado en la ecuación de Mallard; $D=K\beta \text{ sen } V$; y en la relación: $\text{sen } V_{\text{max}}=N.A./\beta$. Para un lente objetivo dado y un β dado, hay un valor de V en el cual los melatopos yacen

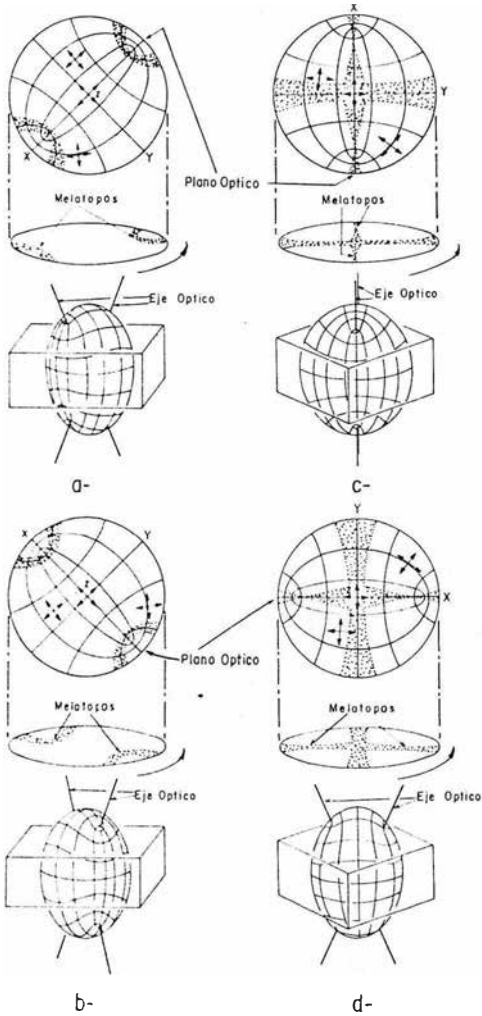


FIG. 27: Situación de las isogiras relacionadas al ángulo de rotación del plano óptico. a) y b) Plano óptico de la indicatriz a 45° con respecto a lo hilos del retículo. c) y d) Plano óptico paralelo a los hilos del retículo (Tomada de Phillips, W., 1971).

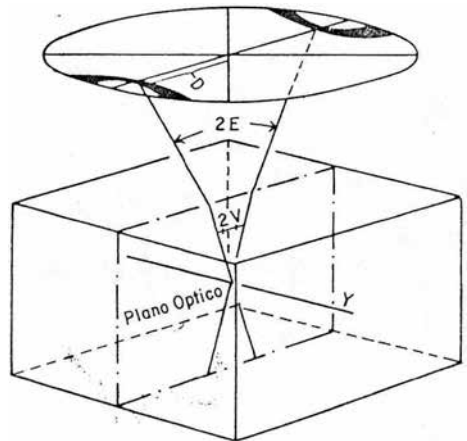


FIG. 28: Relación entre los ángulos $2V$ y $2E$ (Tomada de Phillips, W., 1971).

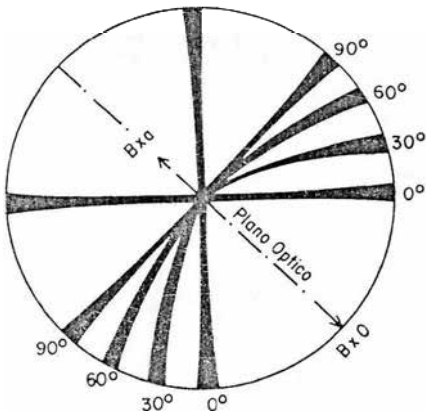


FIG.29: Estimación aproximada del ángulo 2V a partir de la curvatura de las isogiras, con el eje óptico centrado.

en el borde del campo de vista, y las isogiras se colocan en el borde del campo en la posición de 45°.

N.A	B	2V max. visible
0,85	1,40	75°
	1,50	69°
	1,60	64°
	1,70	60°
	1,80	56°

Mediante el método de Tobi se mide el doble del radio del campo visual o sea 2R, además de la distancia entre los dos melatopos 2D, utilizando la Figura 31. Si la apertura numérica del objetivo es de 0,85 en la Figura 32 se puede determinar 2E y 2V para el mineral a partir de la razón 2D/2E. Como se indica en A, el valor de 2D/2R se localiza en un punto del eje vertical, punto que también pertenece a una diagonal; cuando se sigue esta diagonal hacia arriba se llega al valor de 2E para el cristal medido. En forma análoga B muestra como los valores 2D/2R y de β representan las coordenadas en un punto en el interior del diagrama de Tobi; este punto

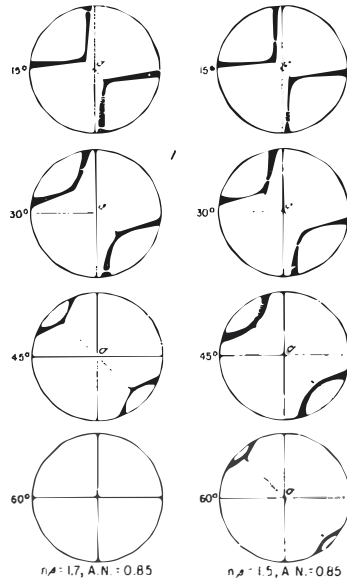


FIG. 30: Estimación de los valores aproximados de 2V, para la máxima separación de las isogiras en la posición de 45°, en una figura de bisectriz aguda. (Tomada de Phillips, W., 1971).

pertenece a una diagonal tal, que su prolongación señala el valor 2V para el cristal. Si se utiliza un objetivo de A. N. diferente a 0,85 digamos M, el diagrama de Tobi permite determinar 2E y 2V con tal de que el valor 2D/2R medido con este objetivo sea previamente multiplicado por M/0,85. El método puede aplicarse a figuras de bisectriz aguda descentrada con tal de que la traza del plano óptico pase próxima al centro del campo visual.

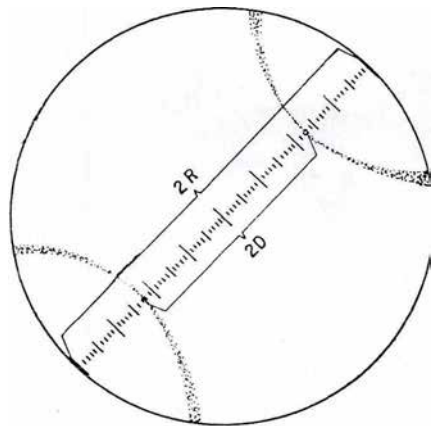


FIG. 31: Uso del micrometro ocular, para medir 2D/2R según el método de Tobi (Tomada de Bloss, F., 1970).

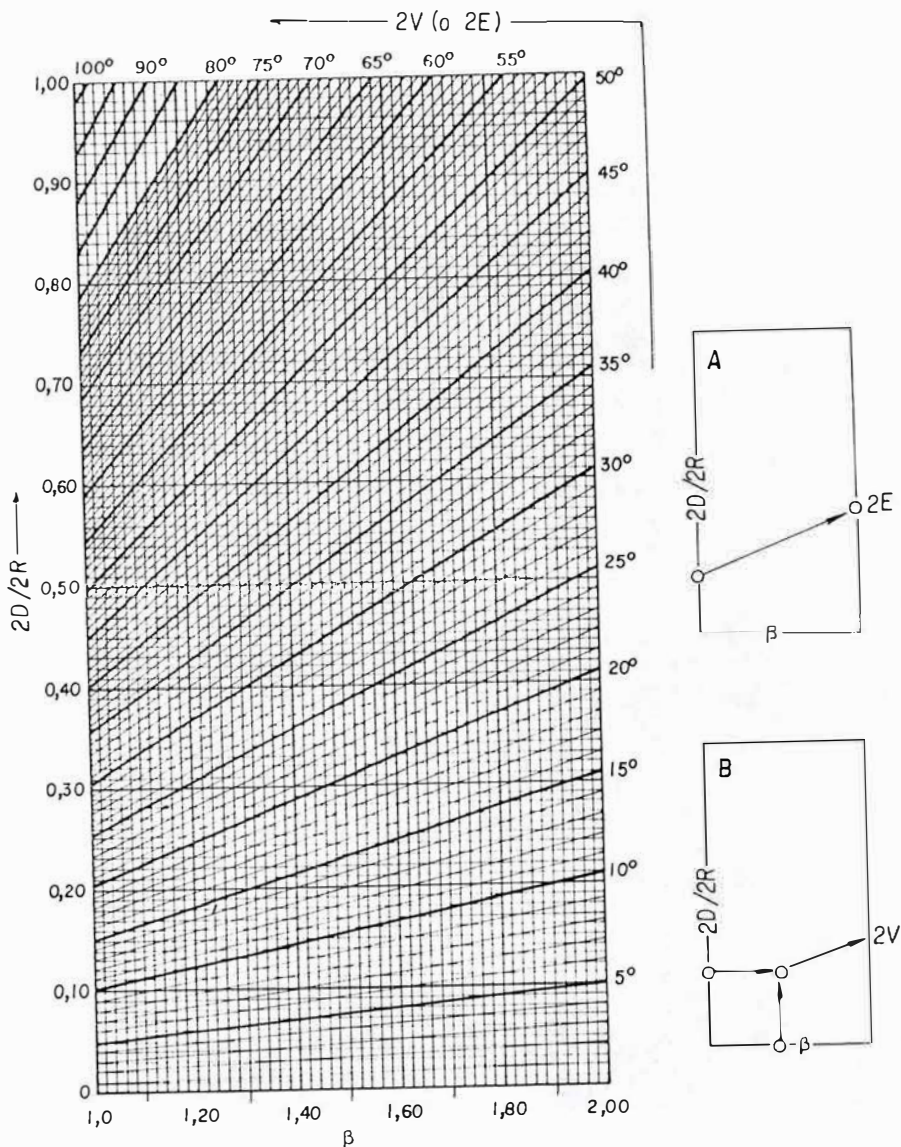


FIG. 32 : Diagrama para la determinación de $2V$ o $2E$ en las figuras de interferencia. El esquema A (arriba derecha) muestra el empleo del diagrama para determinar $2E$ si se ha medido $2D/2R$; el esquema B (abajo derecha) indica su uso, para determinar $2V$ a partir de los valores de β y de $2D/2R$. En cada caso el punto determinado por los valores medidos (encerrados en círculos en los esquemas A y B) cae en una diagonal que indica el valor del ángulo óptico. (Tomada de Bloss, F., 1970).

El método de Kamb, se describe a continuación donde se trata de la distinción de la bisectriz obtusa y la bisectriz aguda en un cristal.

15.7. DETERMINACION DE B_{xa} Y B_{xo}

Cuando el ángulo $2V$ de un cristal es muy grande, puede confundirse la bisectriz aguda centrada con la bisectriz obtusa. La distinción entre esas dos figuras puede hacerse determinando el ángulo δ , que es el ángulo de rotación de la platina, necesario para que las isogiras pasen desde la posición de extinción hasta aquella en que la línea central de la hipérbola sea tangente al borde del campo visual (Fig. 33). Dicho ángulo se debe medir en los cuadrantes NW, SW, NE y SE. El valor de δ (promedio de las cuatro mediciones) permite determinar V cuando se usan las curvas de la Figura 34, donde V representa el ángulo, dentro del cristal, entre el eje principal centrado o casi centrado y el eje óptico. Para decidir que curva de la Figura 34 debe usarse es necesario conocer el valor aproximado de β del cristal y observar la figura de interferencia con un objetivo de apertura numérica de 0,85. El eje principal que emerge en el centro del campo visual es por lo tanto: 1) la bisectriz aguda, si V es menor de 45° ; 2) la bisectriz obtusa, si V rebasa los 45° ; y 3) la normal óptica si δ es tan pequeño, (Fig. 34) que una línea horizontal trazada desde el punto que la representa en el eje de coordenadas, cae por debajo de la curva.

La precisión con que puede determinarse $2V$ depende en parte del grado en que la figura de interferencia esté centrada.

15.8. DETERMINACION DEL SIGNO OPTICO

En las Figuras 35 y 36 se ilustra en forma gráfica la manera de obtener el signo óptico de los cristales biáxicos mediante la utilización de las placas de yeso, mica y cuarzo.

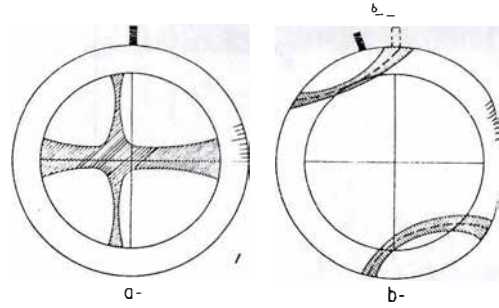


FIG. 33 : a) Figura de interferencia biáxica ligeramente descentrada en la posición de extinción.

b) Aspecto de la misma figura después de rotar la platina un ángulo δ necesario para que el centro de la isogira (línea a trazos) sea tangente al borde NW del campo visual.

--o--

16. DIAGRAMAS DE ORIENTACION

Con algunas excepciones, el presente capítulo ha sido tomado textualmente y traducido de la obra de Shelly, D. (1975) ya que en ella se describe en forma clara y práctica los pasos a seguir en la construcción de diagramas de orientación de minerales. Los diagramas de orientación se emplean para ilustrar las propiedades ópticas. Hay dos enfoques básicos para su construcción:

16.1. UTILIZANDO SECCIONES OPTICAS CARACTERISTICAS

Se busca las secciones que muestren el mayor y el menor color de interferencia para el mineral.

16.1.1. SECCION CON EL MENOR COLOR DE INTERFERENCIA

Dicha sección es cortada paralela a una de las secciones circulares de la indicatriz biáxica, o perpendicular al eje c de un mineral uniáxico. Proceda como sigue:

- 1) Obtenga una figura de interferencia. Determine si es uniáxica, positiva o negativa. (Esto siempre será posible si se escoge la sección correcta). Si es biáxica, calcule el $2V$.

la platina

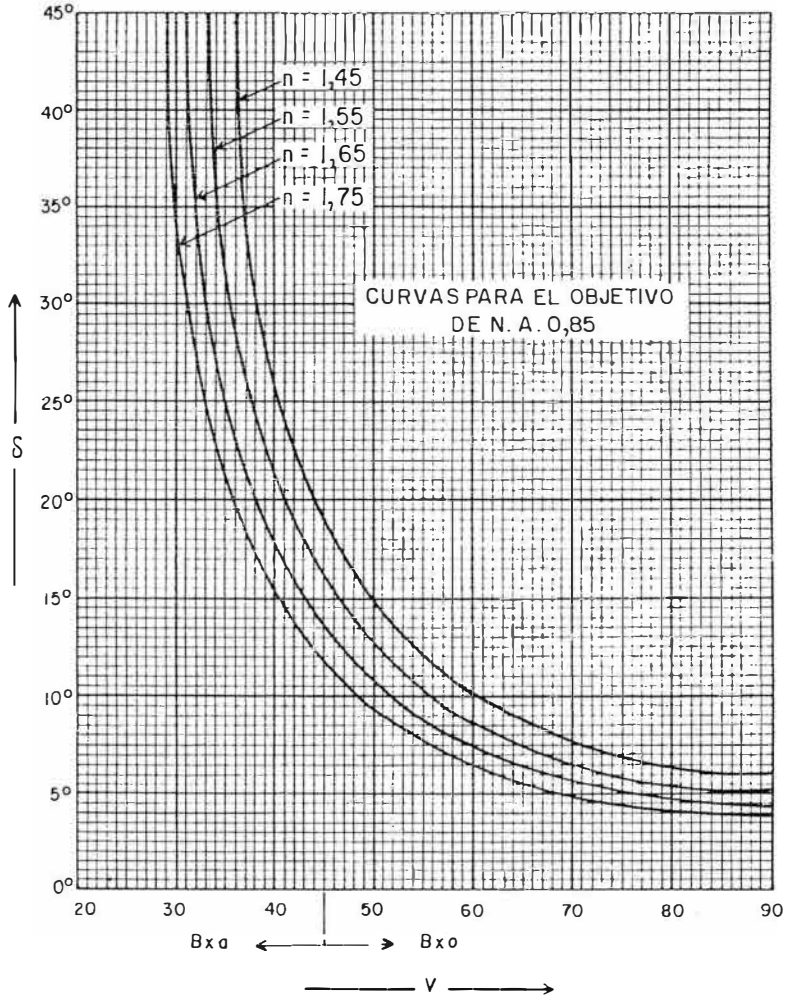


FIG. 34: Diagrama para determinar V , ángulo entre la bisectriz emergente en el centro del campo visual y un eje óptico. El valor de δ se debe medir previamente en una figura de interferencia centrada, vista con un objetivo de A. N. 0,85 (datos complementados de Kamb, W., 1958 en Bloss, F., 1970).

- 2) Si es uniaxial quite la lente de Bertrand y observe con luz polarizada sencilla. Dibuje la sección anotando cualquier forma de cristal (si es euhedral la sección debe ser basal y refleja la simetría hexagonal, trigonal o tetragonal) y/o los clivajes presentes.
- 3) Si es biaxial rote la figura de interferencia 45° . En tal posición las orientaciones del P.O.A. (plano óptico axial) y Y pueden ser determinados (Fig. 37). Sin rotar la platina remueva la lente de Bertrand y ob-

serve la sección con la luz polarizada sencilla. Dibuje la sección anotando cualquier forma del cristal y posición de los clivajes si es que están presentes. Sobreponga sobre el dibujo la posición de Y y del P.O.A. como se ha determinado a partir de la figura de interferencia.

16.1.2. SECCION CON EL MAYOR COLOR DE INTERFERENCIA

Tal sección es paralela a X y Z de un mineral biaxial o paralela al eje c de un mineral uniaxial. Proceda como sigue:

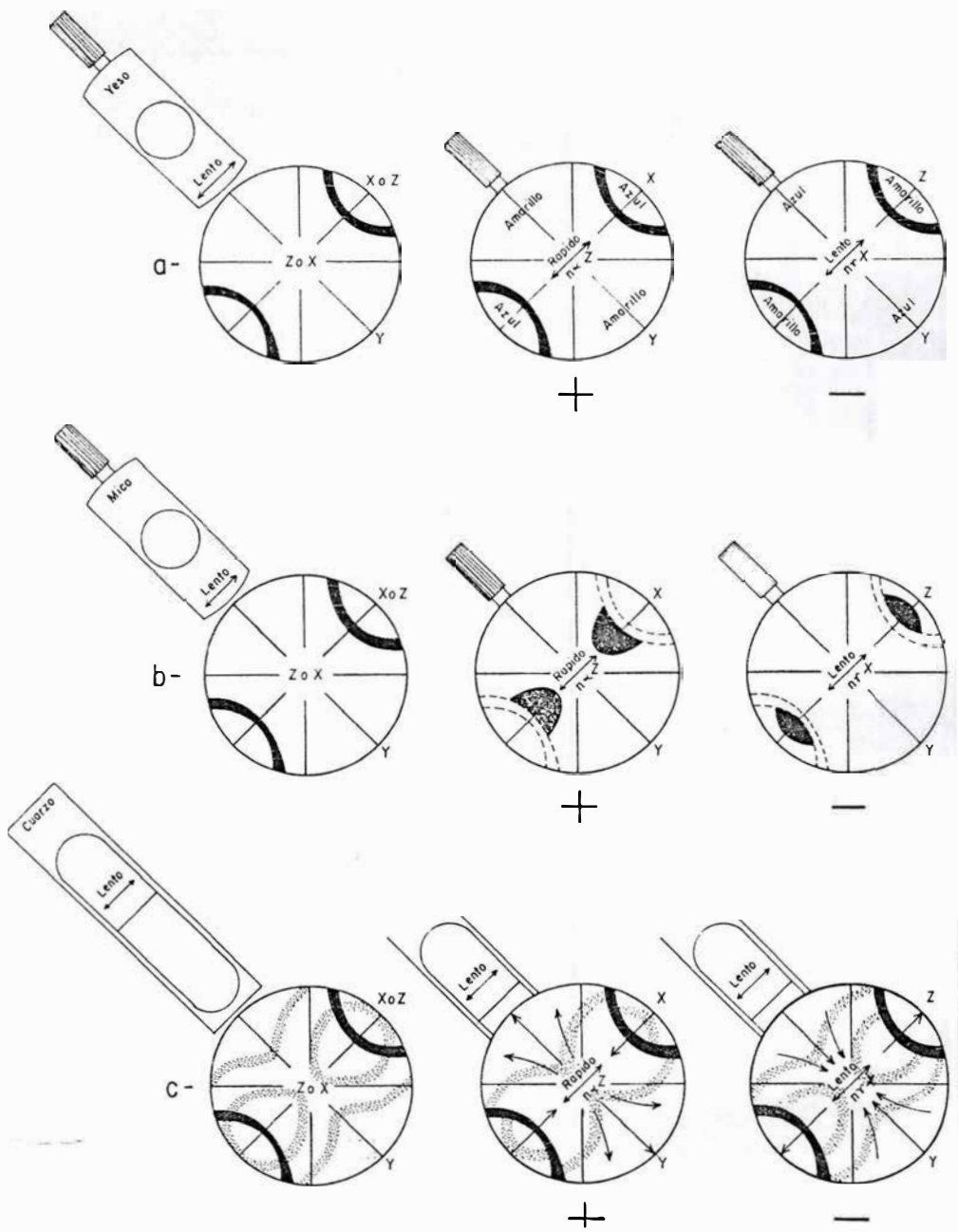


FIG. 35: Determinación del signo óptico en un cristal biáxico de bisectriz aguda, mediante el uso de las placas de yeso, mica y cuarzo; a), b) y c) respectivamente.

-o-

- 1) Ponga el grano en extinción, remueva el analizador y dibuje la sección anotando cualquier forma del cristal y/o de los clivajes. Las dos direcciones ópticas pueden ser trazadas paralelas a los hilos cruzados.
- 2) Si el mineral es uniaxial debemos saber a partir de la sección 16.1.1. cuando el mineral es positivo o negativo. Si es uniaxial positivo entonces la dirección paralela al eje c (ϵ) es lenta, y si es negativo

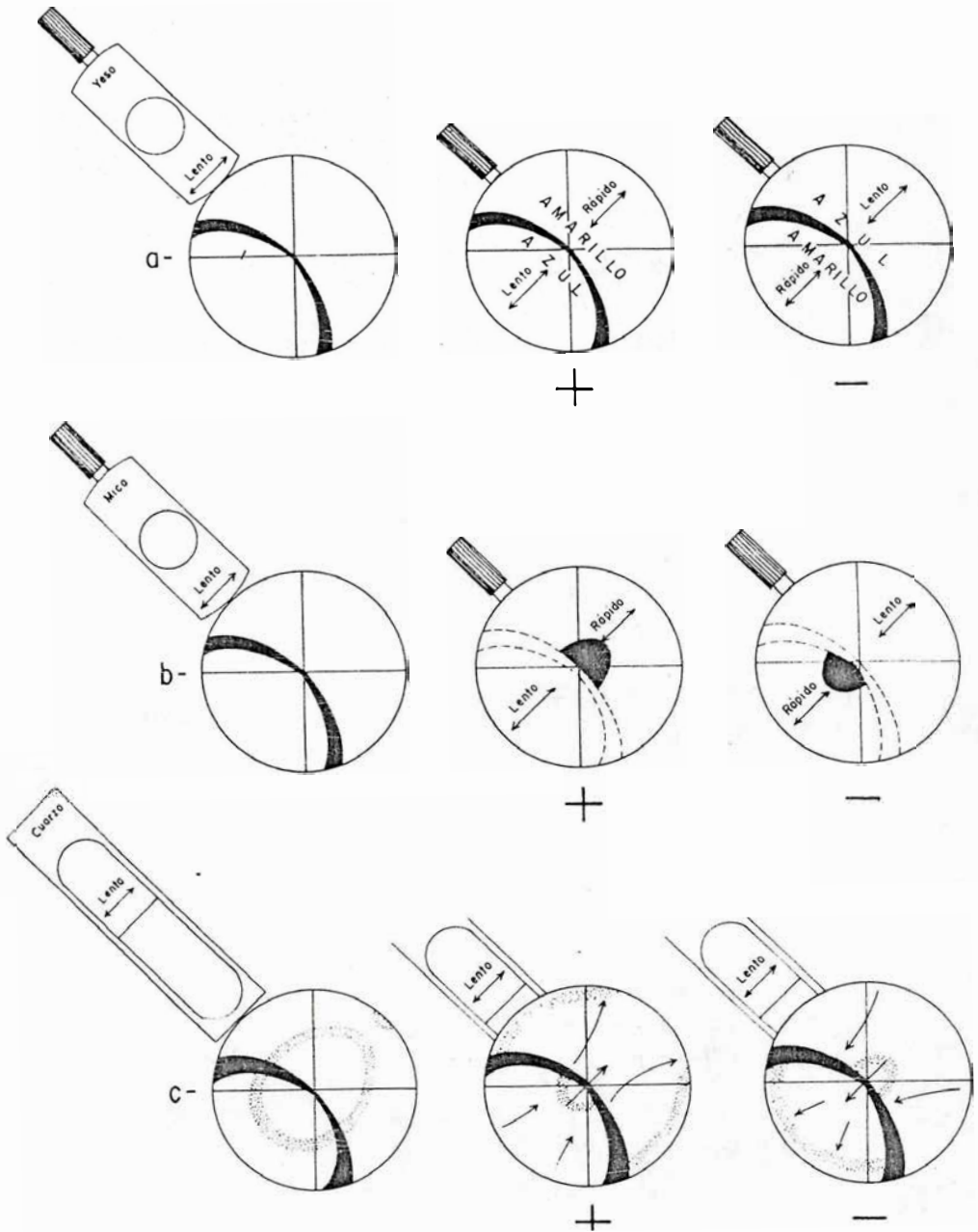


FIG. 36: Determinación del signo óptico en un cristal biáxico en una figura de eje óptico centrado, mediante el uso de las placas de yeso, mica y cuarzo; a) b) y c) respectivamente.

-o-

será rápida; coloque el analizador, rote la platina 45° y por medio de una placa accesoria determine la posición del eje c anotando las direcciones rápida y lenta. Los minerales uniáxicos siempre tienen extinción recta o

simétrica con respecto a las formas y clivajes del cristal.

3) Si el mineral es biáxico, coloque el analizador, rote la platina 45° y por

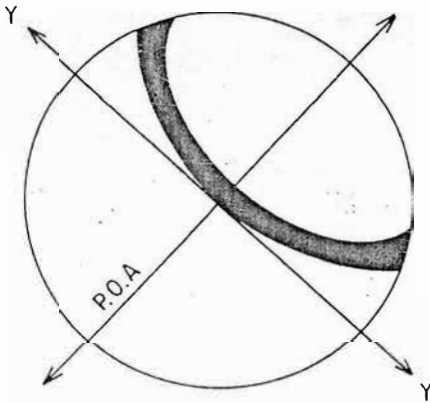


FIG. 37: Uso de la figura biáxica de eje óptico para determinar la posición de Y y de P.O.A.

—o—
medio de una placa accesoria determine cual dirección es rápida y cual es lenta. Anótelas sobre el dibujo como X y Z respectivamente.

Los minerales euhedrales que pertenecen al sistema ortorrómbico tendrán extinción recta o simétrica con respecto a la forma de clivaje de un cristal. Normalmente los minerales triclinicos presentan extinción inclinada. Si X o $Z = b$ de un mineral monoclinico, habrá extinción recta o simétrica, pero como generalmente Y es igual a b , habrá por lo general extinción inclinada en la sección XZ .

16.2. UTILIZANDO SECCIONES CRISTALOGRAFICAS CARACTERISTICAS

Se busca las secciones que sean paralelas o perpendiculares a caras o clivajes destacados de un cristal.

Si el mineral es uniáxico estas secciones serán por lo general las mismas que las dos secciones ópticas características estudiadas bajo el numeral 16.1. Como las direcciones ópticas y cristalográficas tienen interrelaciones más complejas en los minerales biáxicos, sus secciones cristalográficas características no serán necesariamente las mismas que las estudiadas en dicho numeral.

Por lo tanto para los minerales biáxicos proceda como sigue:

1) Busque las secciones que se juzgue sean paralelas a caras importantes de un cristal o que muestren clivajes perfectamente verticales a la sección (es decir que si un mineral tiene un buen clivaje, deben haber secciones paralelas a él las cuales no parecen tener clivaje. La presencia de tales secciones debe ser anticipada y una búsqueda cuidadosa de ellas se debe realizar. En forma similar los minerales que presentan dos clivajes se deben observar no solamente en las secciones que muestren los dos clivajes sino también en aquellas que muestren solamente uno.

2) Coloque el mineral en extinción, remueva el analizador y dibuje el grano ilustrando las caras del cristal (si las hay) y los clivajes (si los hay) y sobreponga la orientación de los hilos cruzados (la cual indica la posición de las dos direcciones de vibración).

3) Coloque el analizador, rote la platina 45° y utilizando una placa accesoria determine las direcciones rápida y lenta y anótelas sobre el dibujo.

4) Obtenga una figura de interferencia.

Algunas veces se tiene la suerte de obtener una figura de bisectriz centrada, en cuyo caso la posición de X , Y y Z pueden ser inmediatamente anotadas en el dibujo de la sección del mineral. Un ejemplo de este procedimiento se da a continuación:

a) El mineral se dibuja en su posición de extinción (Fig. 38a) y por rota-

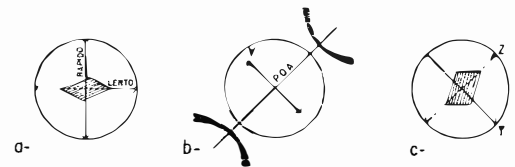


FIG. 38: Ejemplo que muestra como se construye un diagrama de orientación.

ción posterior y uso de una placa accesoria las direcciones rápidas y lentas son anotadas.

- b) Se obtiene una figura de interferencia en la cual las isogiras rotan hacia afuera de los cuadrantes NE y SW. Así podemos especificar las posiciones del P.O.A. y Y (siempre perpendiculares al P.O.A.) Como se muestra en la Figura 38b).
- c) Sin rotar de esta posición, el analizador y la lente de Bertrand son removidos y el grano es observado (Fig. 38c).
- d) La dirección lenta en este caso yace en P.O.A. y por lo tanto debe ser Z. La sección también contiene a Y. La dirección X es por lo tanto vertical en la sección.

Las posiciones de X, Y y Z se pueden determinar por medio de una placa accesoria según se indica en la Figura 39.

Aún si se obtiene una figura no centrada combinando la determinación de las direcciones lenta y rápida y de la birrefringencia parcial de la sección, se puede acumular suficiente información que permita comparar con los diagramas de orientación de los minerales que aparecen en los textos de Mineralogía Óptica. Si siempre se obtiene figuras no centradas en secciones cristalográficas características, esto por sí solo es significativo y por lo general implica que el mineral tiene una simetría triclinica.

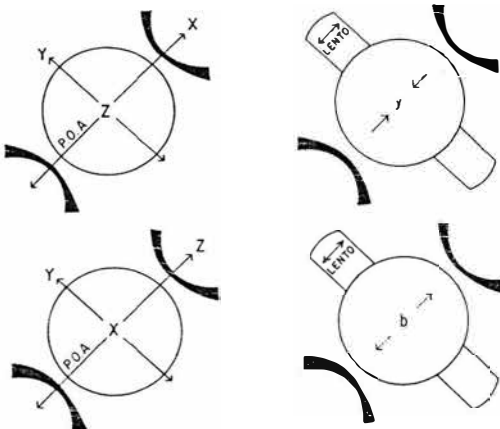


FIG. 39: Determinación de la posición de X, Y y Z en una figura de bisectriz centrada, utilizando una placa accesoria. La letra (y) corresponde al amarillo y la (b) al azul.

17. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BLOSS, F. D., 1961.-*An introduction to the methods of optical crystallography.* Hol. Rinehart and Winston. New York, N. Y., 213 pp.
- HARDY, A. C., and FRED. H. P., 1932.-*"The Principles of Optics"*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- HURLBUT, C. S., 1971.- *Danas's Manual of Mineralogy.* Wiley and Sons, New York, N. Y., 18th ed., 579 pp.
- KAMB, W. B., 1958.- *Isogyres in interference figures.* Am. Mineral, 43, 1029-1067.
- KERR, P. F., 1959.- *Optical Mineralogy.* McGraw-Hill Book Company, inc. New York. Toronto, London, 3th ed., 442 pp.
- LARSEN, E. S. and BERMAN, H., 1934.- *The microscopic determination of the non-opaque minerals.* U.S.G.S. Bull., 848: 266 pp.
- PHILLIPS, W. R., 1971.- *Mineral Optics. Principles and techniques.* W. H. Freeman and Company, San Francisco, 249 pp.
- SHELLY, D., 1975.- *Manual of Optical Mineralogy.* Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York, 239 pp.
- ROGERS, A. F., 1906.- *The determination of minerals in crushed fragments by means of the polarizing microscope.* Columbia School Mines, Quart., 27, 340-359.
- SMITH, HAROLD T. V., 1937.- *Simplified graphic method of determining approximate axial angle from refractive indices of biaxial minerals.* Am. Mineral, 22, 675-681.

- TOBY, A. C., 1956.- *A chart for measurement of optic axial angles*. *Am Mineral.*, 41:516-519.
- TUTTLE, O. F., 1952.- *Optical studies on alkali feldspars*. *Am. Jour. Sci.*, Bowen Vol., 553-557.
- WAHLSTROM, E. E., 1969.- *Optical Crystallography*. Wiley and Sons, New York, N. Y., 489 pp.
- WINCHELL, H., 1965.- *Optical properties of minerals: A determinative table*. Academic Press, New York, N. Y., 91 pp.
- WRIGHT, F. E., 1907.- *The measurement of the optic axial angle of the minerals in thin section*. *Am. Jour. Sci.*, 24, 317-369.

* * *



18. ANEXO DE MICROFOTOGRAFIAS DE MINERALES



A

LISTA DE MICROFOTOGRAFIAS DE MINERALES

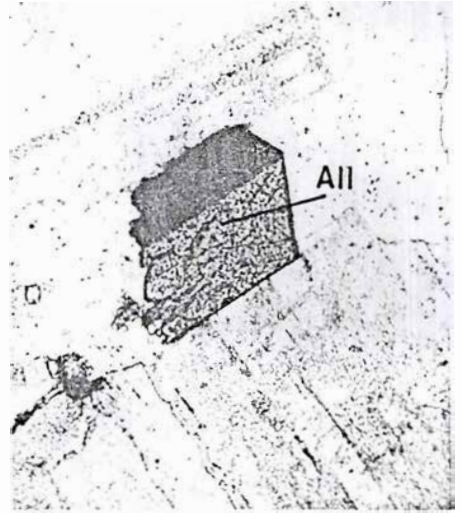
		Página
Número	Mineral	
1 - 4	Allanita	41
5 - 8	Andalucita	42
9 - 12	Anfíbol	43
13 - 16	Apatito	44
17 - 19	Augita	45
20 - 23	Biotita	45 - 46
24 - 27	Calcita	46 - 47
28 - 30	Clorita	47 - 48
31	Cordierita	48
32 - 36	Cuarzo	48 - 49
37 - 40	Diópsido	50
41 - 46	Epidota	51 - 52
47 - 50	Esfena	52 - 53
51 - 54	Espinela	53 - 54
55	Estaurolita	54
56 - 57	Fluorita	54 - 55
58	Glaucofano	55
59 - 62	Glauconita	55 - 56
63 - 64	Granate	56
65 - 68	Hastingsita	57
69 - 74	Hornblenda	58 - 59
75 - 78	Lawsonita	59 - 60
79 - 81	Microclina	60 - 61
82	Microperita	61 - 62

Número	Mineral	
83 - 86	Nefelina	62
87 - 90	Olivino . .	62 - 63
91 - 92	Ortoclasa	63
93 - 94	Penninita	64
95 - 98	Piedmontita	64 - 65
99 - 102	Piroxeno . .	65 - 66
103 - 107	Plagioclasa	66 - 67
108 - 111	Prehenita . . .	67 - 68
112 - 113	Pumpellita .	68 - 69
114 - 115	Quiastolita	69
116 - 118	Riebequita	69 - 70
119	Sericita	70
120 - 122	Serpentinita	70 - 71
123 - 126	Sillimanita . .	71 - 72
127 - 129	Stilnomelano	72 - 73
130 - 131	Tremolita	73
132 - 137	Turmalina	74 - 75
138 - 141	Wollastonita	75 - 76
142 - 143	Zircón	76

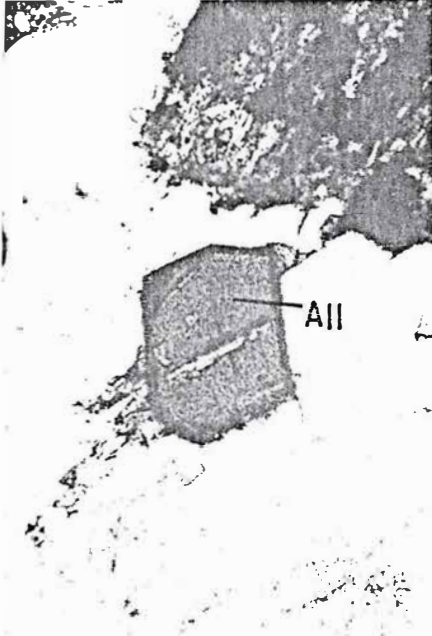
* * *



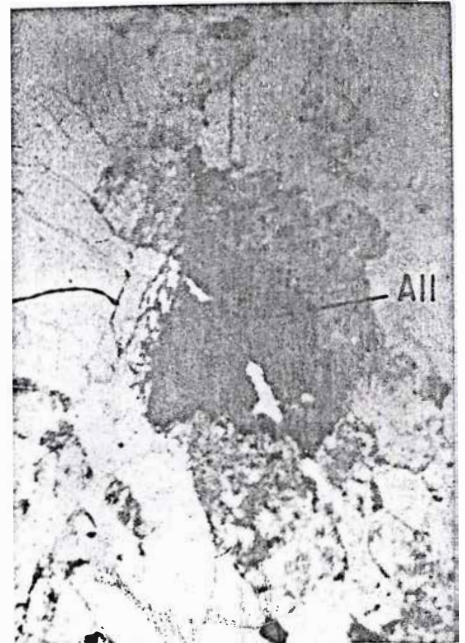
1. Allanita euhedral (All). Polarizadores X. Granito, Macizo de Santander.



2. Allanita euhedral (All). Polarizadores II. Granito, Macizo de Santander.



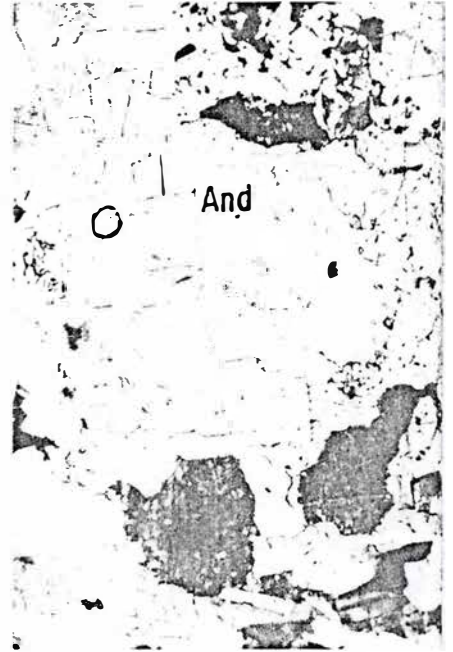
3. Allanita (All). Polarizadores X. Cuarzodiorita, Batolito Ibagué. Tolima.



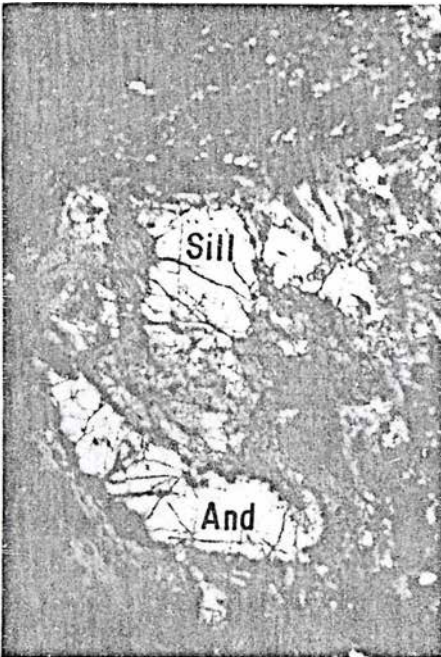
4. Allanita (All). Metamítica. Polarizadores II. Neis. Metamorfitas paleozóicas. Antioquia.



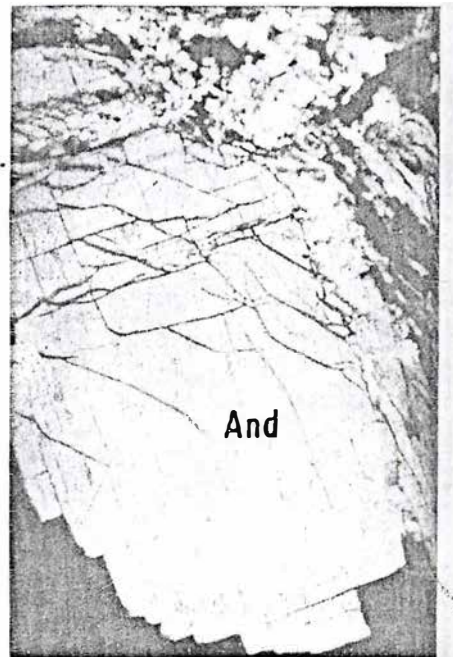
5. Andalucita (And). Muestra relieve y clivaje. Pol. X. Esquisto, Macizo de Santander.



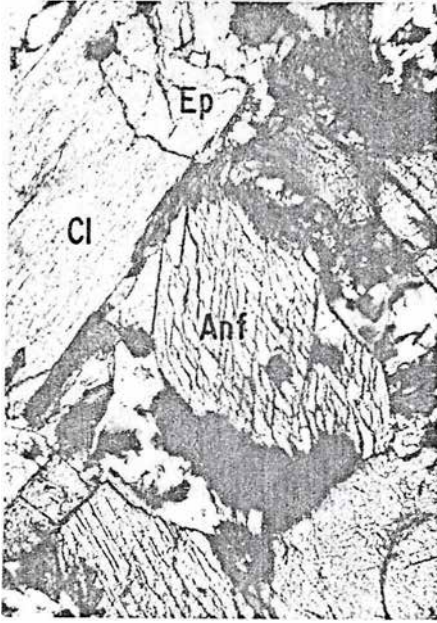
6. Andalucita (And). Muestra relieve y clivaje. Pol. X. Esquisto, Macizo de Santander.



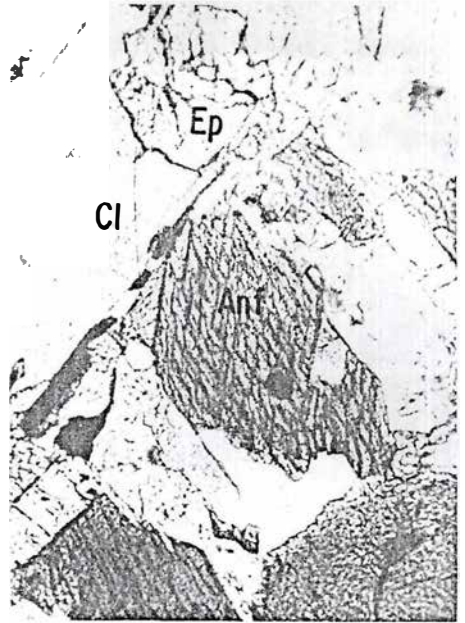
7. Andalucita (And) con silimanita (Sill), sección basal. Pol. X. Esquisto, Macizo de Santander.



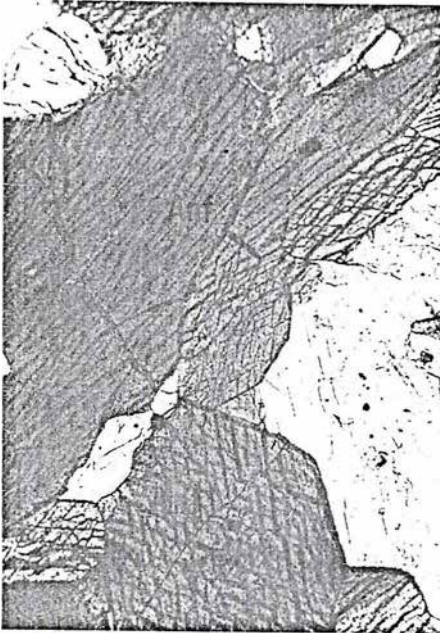
8. Andalucita (And). Muestra forma y clivaje. Pol. X. Esquisto, Grupo Cajamarca, Tolima.



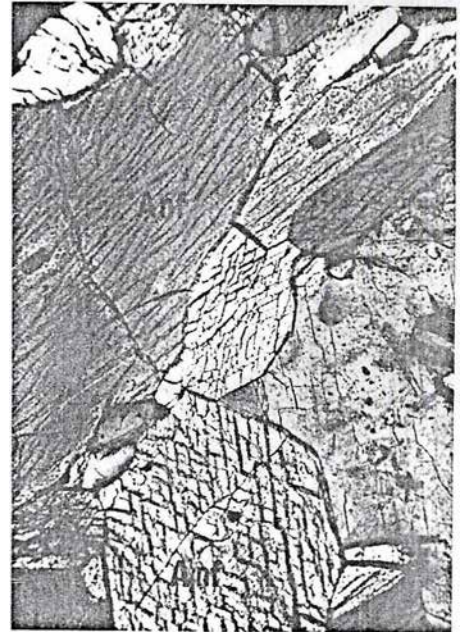
9. Anfíbol (Anf). Sección transversal. Epidota (Ep), Clorita (Cl). Pol. X. Esquisto, Macizo de Santander.



10. Anfíbol (Anf). Sección transversal. Epidota (Ep), Clorita (Cl). Pol. II. Esquisto, Macizo de Santander.



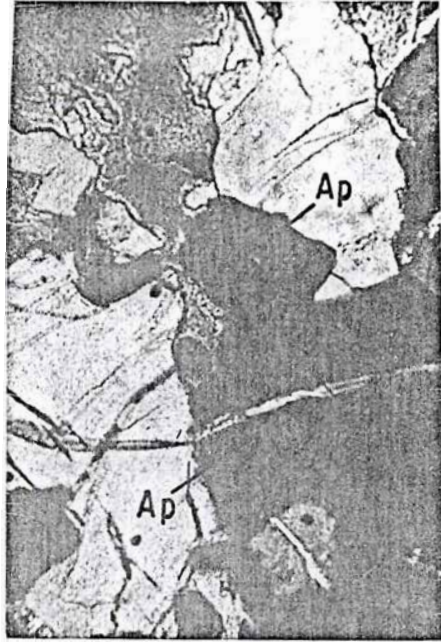
11. Anfíbol (Anf). Muestra clivajes. Sección transversal. Pol. II. Anfíbolita. Zona migmatítica, Nariño.



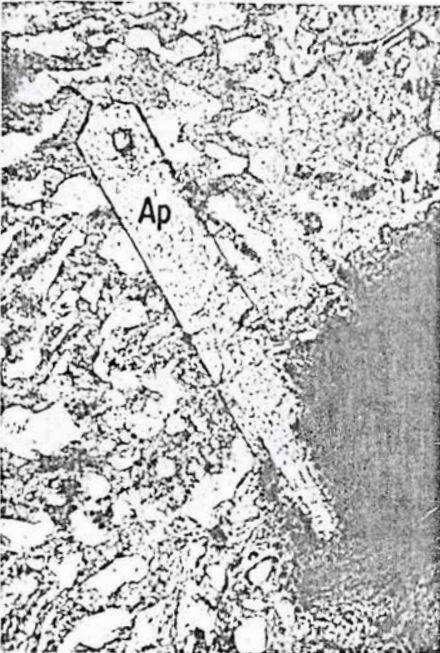
12. Anfíbol (Anf). Muestra clivajes. Sección transversal. Pol. X. Anfíbolita. Zona migmatítica, Nariño.



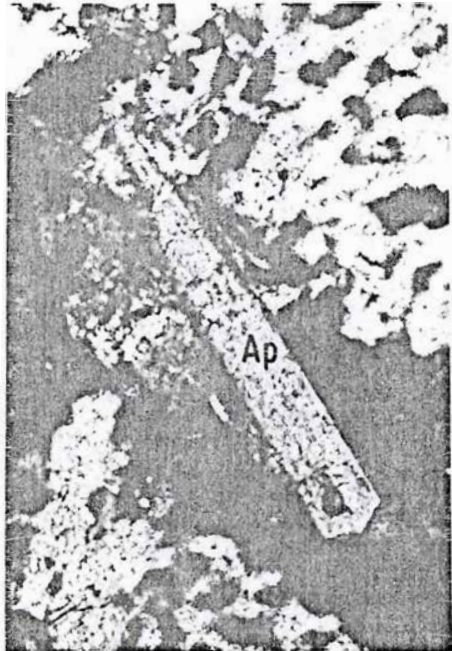
13. Apatito (Ap). Muestra relieve. Pol. II. Cuarzodiorita. Catalina, Cauca.



14. Apatito (Ap). Pol. X. Cuarzodiorita. Catalina, Cauca.



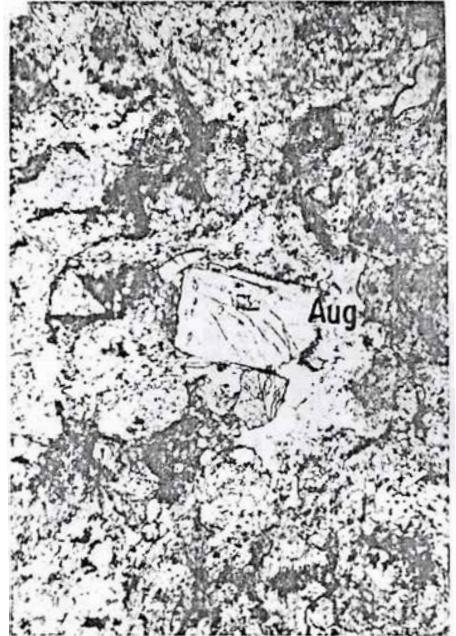
15. Apatito (Ap). Sección longitudinal. Muestra relieve y forma Pol. II. Granito, Macizo de Santander.



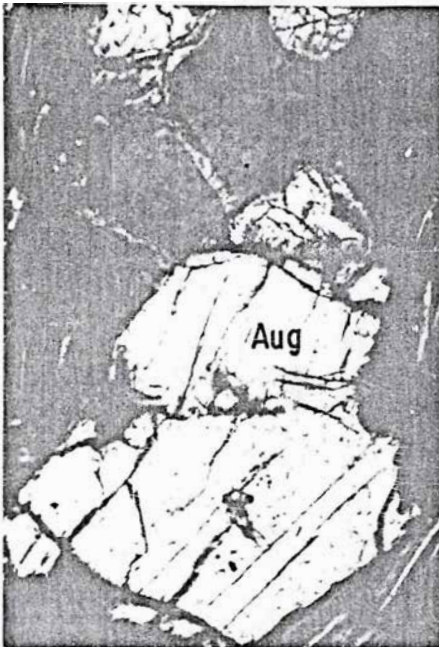
16. Apatito (Ap). Sección longitudinal. Muestra forma. Pol. X. Granito, Macizo de Santander.



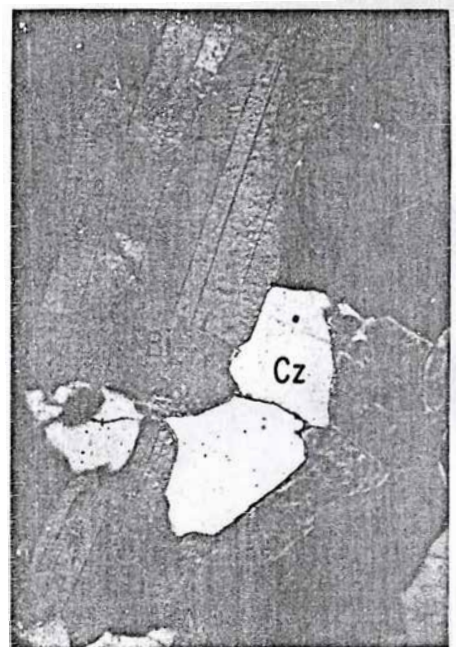
17. Augita (Aug). Muestra forma, macla e inclusiones. Pol. X. Andesita. Puracé, Cauca.



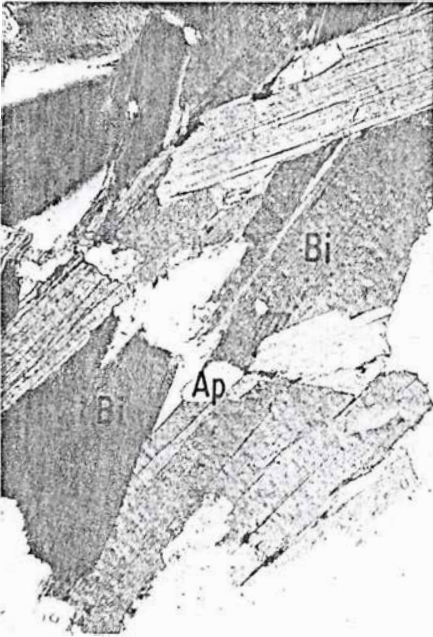
18. Augita (Aug). Muestra forma, relieve e inclusiones Pol. II. Andesita. Puracé, Cauca.



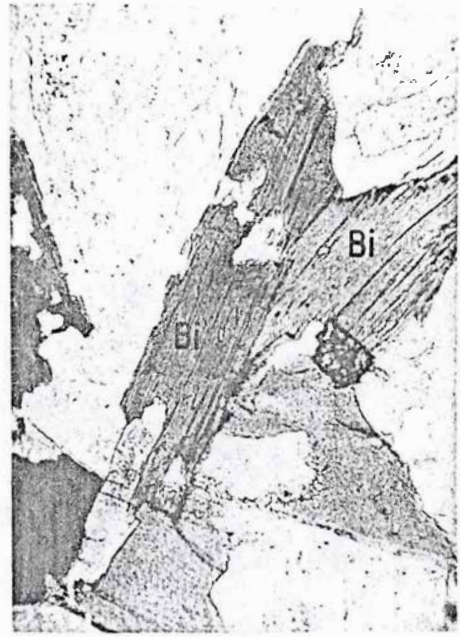
19. Augita (Aug). Muestra clivaje. Pol. X. Basalto. Cordillera Occidental, Cauca.



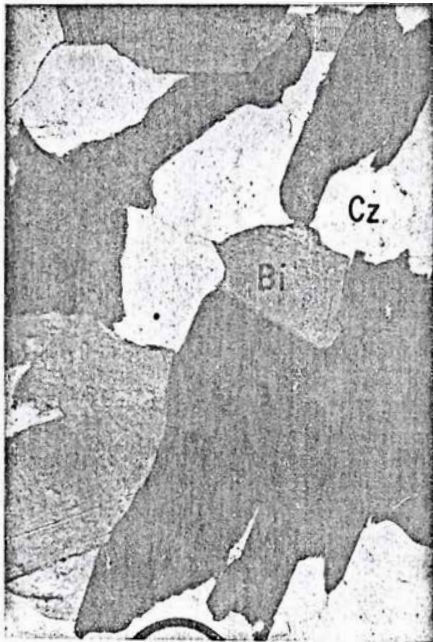
20. Biotita (Bi). Muestra forma y clivaje. Cuarzo (Cz). Polarizadores X. Cuarzodiorita. SW, Nariño.



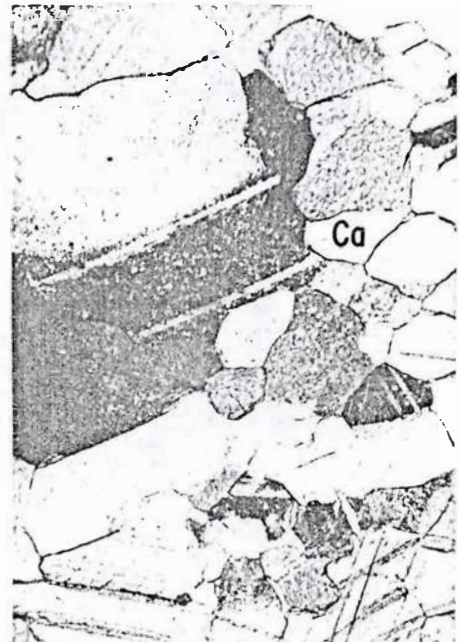
21. Biotita (Bi). Muestra forma y clivaje. Apatito (Ap). Pol. X. Esquisto. Macizo de Santander.



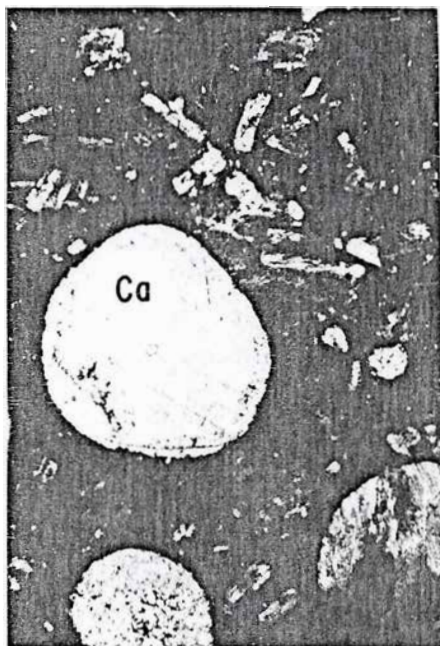
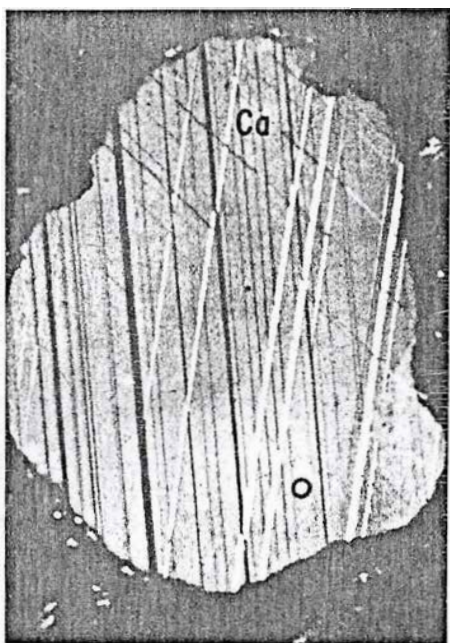
22. Biotita (Bi) con Zircón (Zr). Pol. II. Esquisto Macizo de Santander.



23. Biotita (Bi). Muestra forma y clivaje. Cuarzo (Cz). Pol. II. Cuarzodiorita. Cord. Central, Cauca.

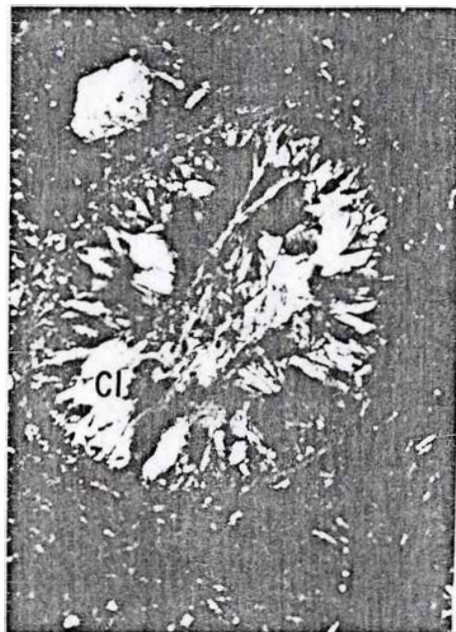
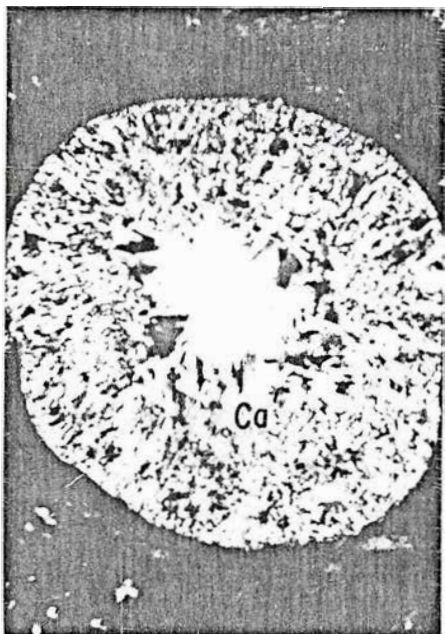


24. Calcita (Ca). Muestra forma Pol. X. Mármol. Pitayó, Cauca.



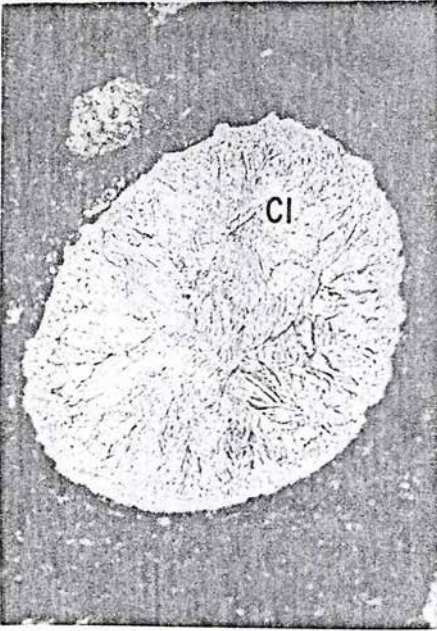
25. Calcita (Ca). En amigdula. Muestra macla-
miento laminar. Pol. X. Basalto. Cordillera
Occidental, Cauca.

26. Calcita (Ca). En amigdula. Pol. X. Diabasa.
Cordillera Occidental, Cauca.

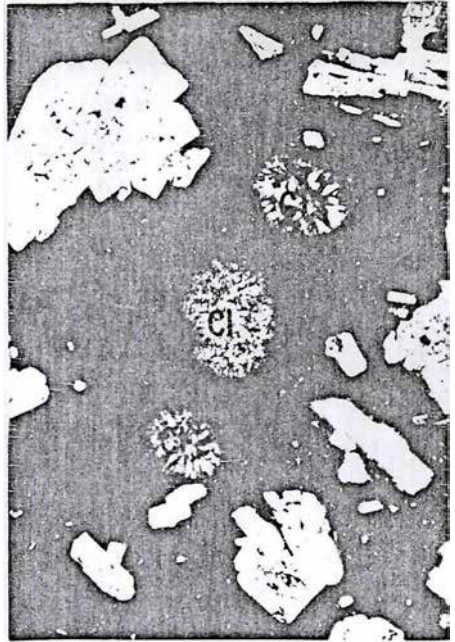


27. Calcita (Ca). En amigdula. Pol. X. Basalto
alterado. Cordillera Occidental, Cauca.

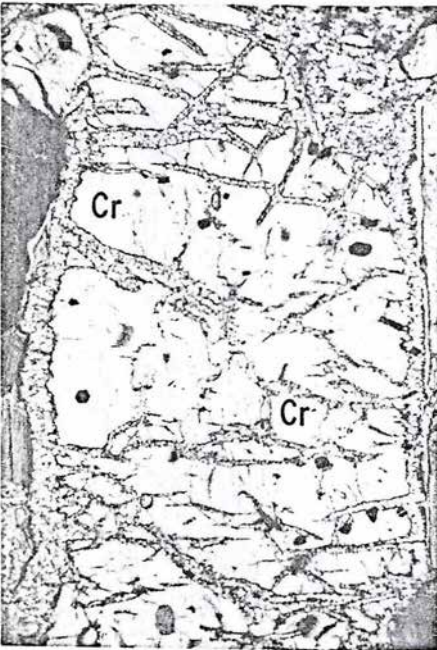
28. Clorita (Cl). en esfera. Muestra forma.
Pol. X. Basalto alterado. Cordillera Occiden-
tal, Cauca.



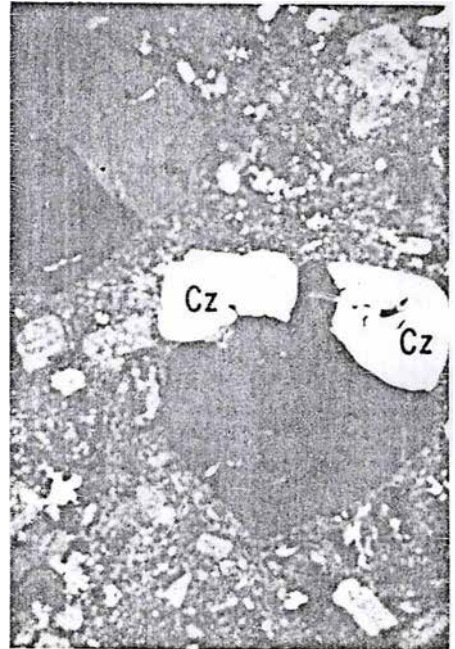
29. Clorita (Cl) en esferulito. Pol. II. Basalto alterado. Cordillera Occidental, Cauca.



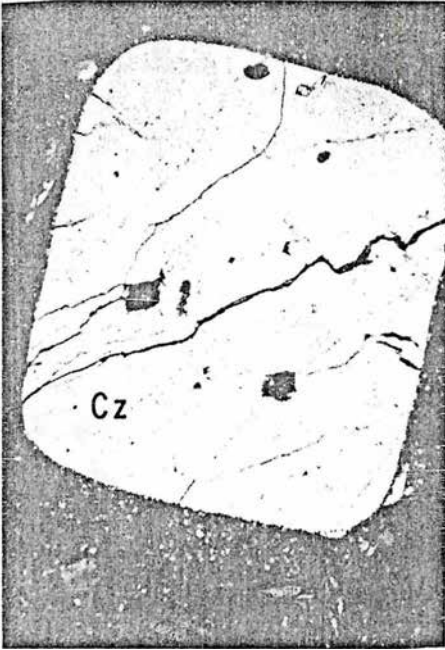
30. Clorita (Cl) en esferulitos. Pol. X. Andesita. Cordillera Central, Cauca.



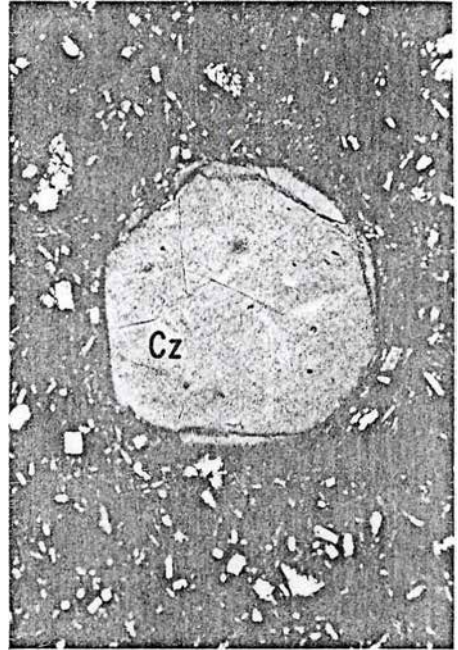
31. Cordierita. Neis de Bucaramanga, Santander. (Colección Jairo Vesga).



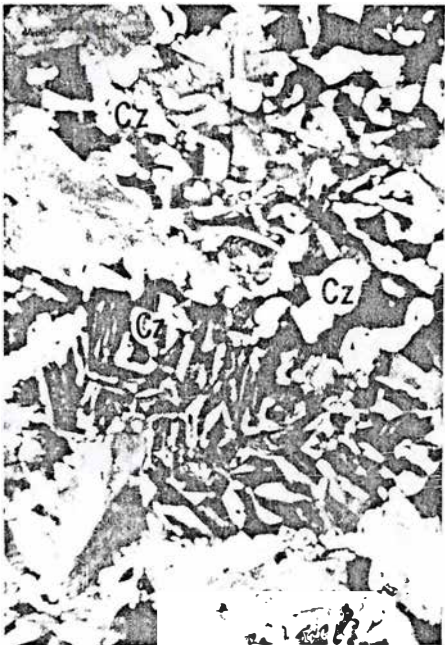
32. Cuarzo (Cz). Sección basal. Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión Cauca - Patía, Cauca.



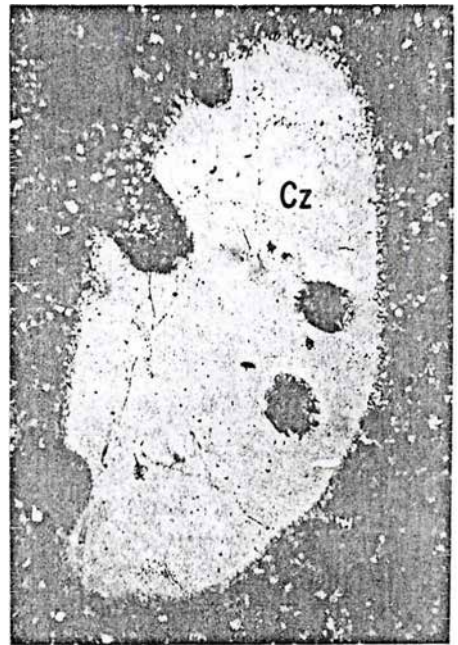
33. Cuarzo (Cz). Muestra forma Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión, Patía, Cauca.



34. Cuarzo (Cz). Sección transversal. Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión Patía, Cauca.



35. Cuarzo (Cz). Intercrecimiento gráfico con plagioclasa. Pol. X. Granito, Macizo de Santander.



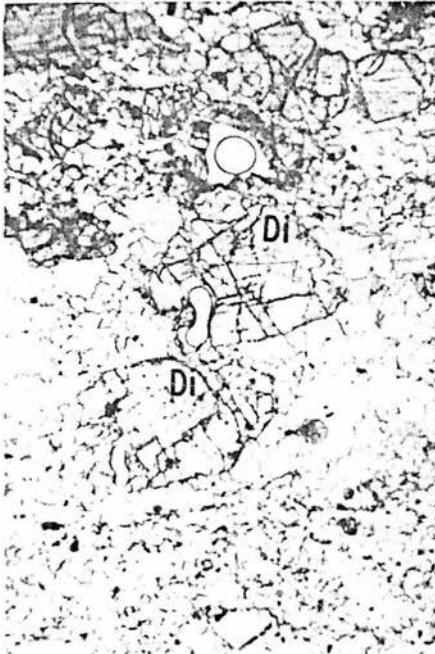
36. Cuarzo (Cz). Muestra reabsorción por la matriz. Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión Patía, Cauca.



37. Diópsido (Di). Muestra relieve y clivaje. Pol. X Skarn. Cordillera Central, Antioquia



38. Diópsido (Di). Muestra relieve y clivaje. Pol. II Skarn. Cordillera Central, Antioquia.



39. Diópsido (Di). Muestra forma y relieve. Pol. X. Mármol. Payandé, Tolima.



40. Diópsido (Di). Muestra clivaje. Tremolita (Tre). Pol. X. Skarn. Cordillera Central, Antioquia.



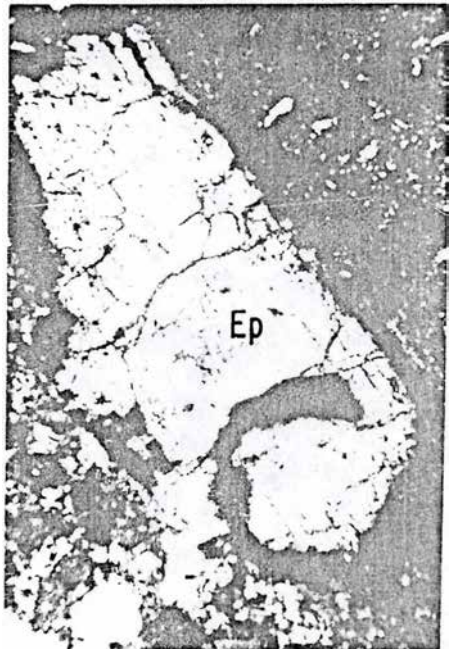
41. Epidota (Ep). Muestra forma y relieve. Pol. X. Vena hidrotermal. Nariño.



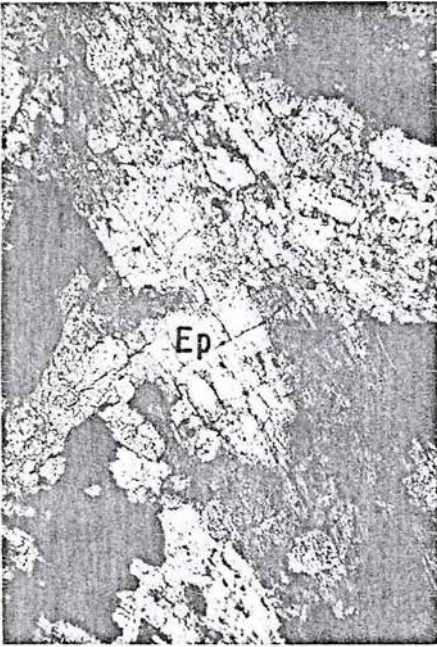
42. Epidota (Ep). Muestra forma y relieve. Pol. II. Vena hidrotermal. Nariño.



43. Epidota (Ep). Muestra relieve, forma y clivaje. Pol. II. Basalto. Cordillera Occidental, Cauca.



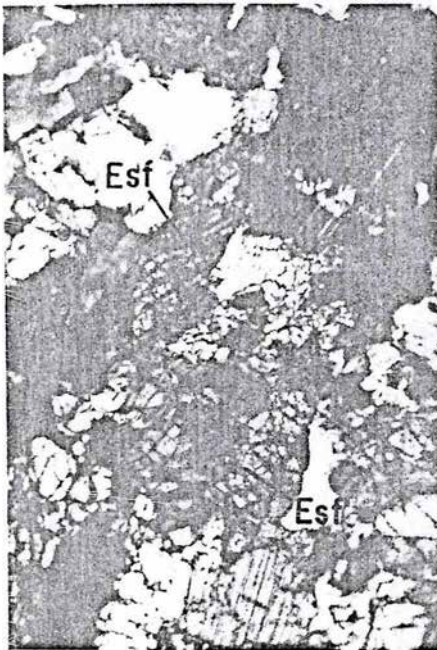
44. Epidota (Ep). Muestra forma y clivaje. Pol. X. Basalto. Cordillera Occidental, Cauca.



45. Epidota (Ep). Muestra hábito y clivaje. Pol. X. Diabasa. Cordillera Occidental, Valle.



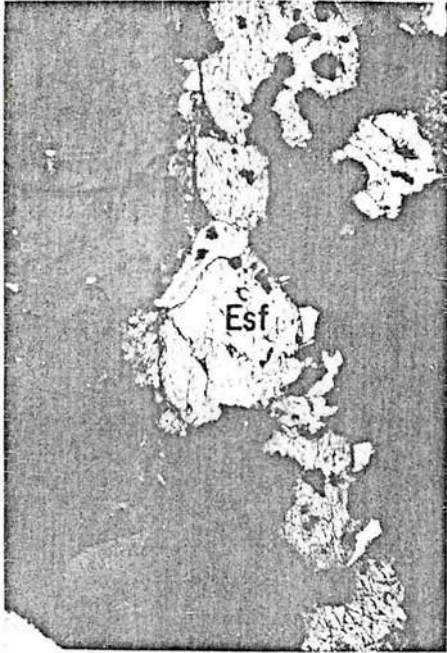
46. Epidota (Ep). Muestra relieve alto. Biotita (Bi). Pol. X. Granodiorita. Macizo de Santander.



47. Esfena (Esf). Muestra forma e índice de refracción alto. Pol. X. Skarn. Mocoa, Putumayo.



48. Esfena (Esf). Muestra forma. Pol. II. Skarn. Mocoa, Putumayo.



49. Esfena (Esf). Pol. X. Cuarzodiorita. Cordillera Central, Cauca.

50. Esfena (Esf). Pol. II. Cuarzodiorita. Cordillera Central, Cauca.

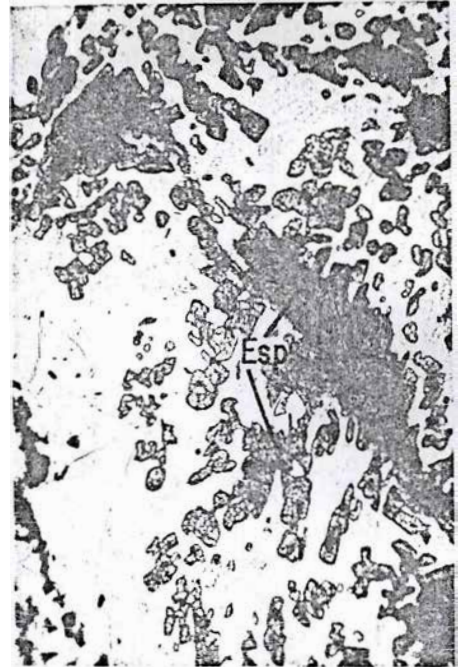


51. Espinela (Esp). Muestra forma y relieve. Pol. II. Esquisto. Cordillera Central, Antioquia.

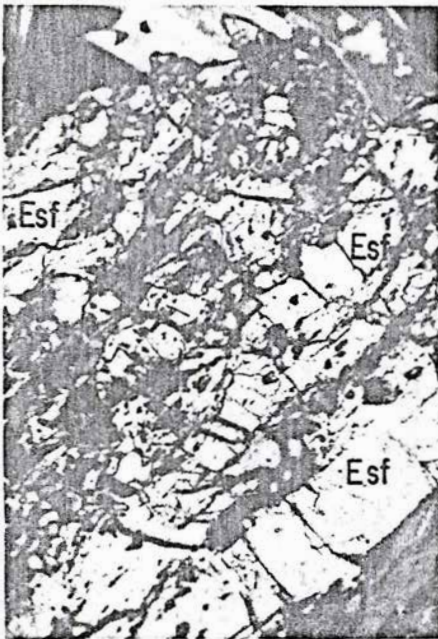
52. Espinela (Esp). Muestra forma y relieve. Pol. II. Esquisto. Cordillera Central, Antioquia.



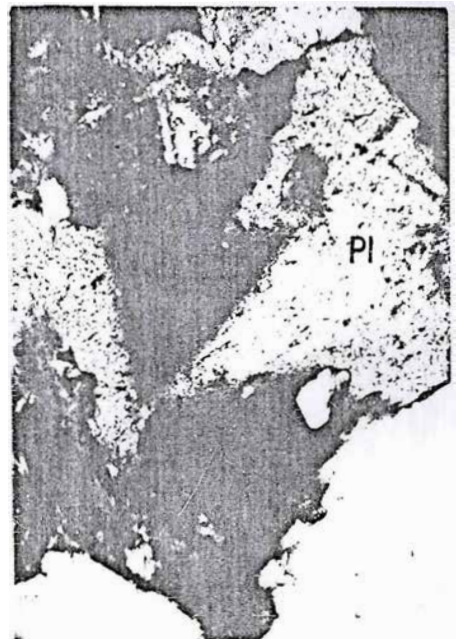
53. Espinela (Esp). Muestra forma y relieve. Pol. II. Esquisto. Cordillera Central. Antioquia.



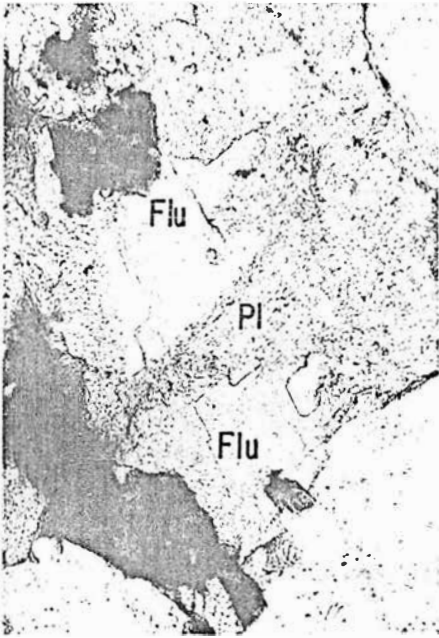
54. Espinela (Esp). Muestra forma y relieve. Pol. II. Esquisto. Cordillera Central, Antioquia.



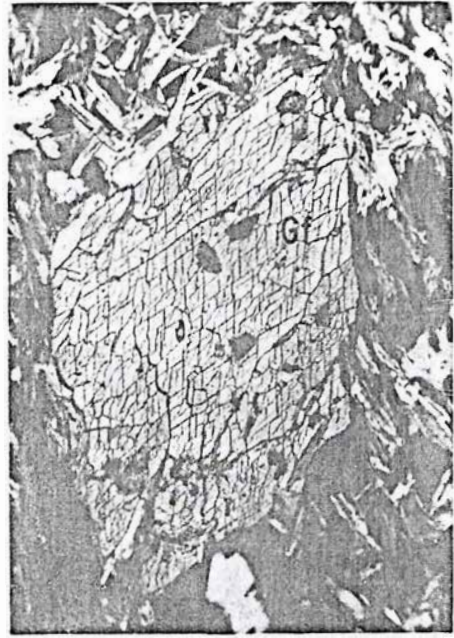
55. Estaurolita (Est). Con inclusiones de cuarzo (Cz). Muestra relieve. Pol. X. Cuarcita micácea. Cordillera Central, Antioquia.



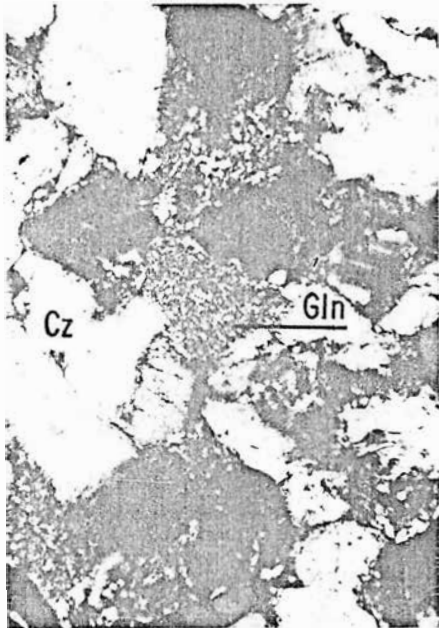
56. Fluorita (Flu). Con plagioclasa (Pl). Pol. X. Granito. Macizo de Santander.



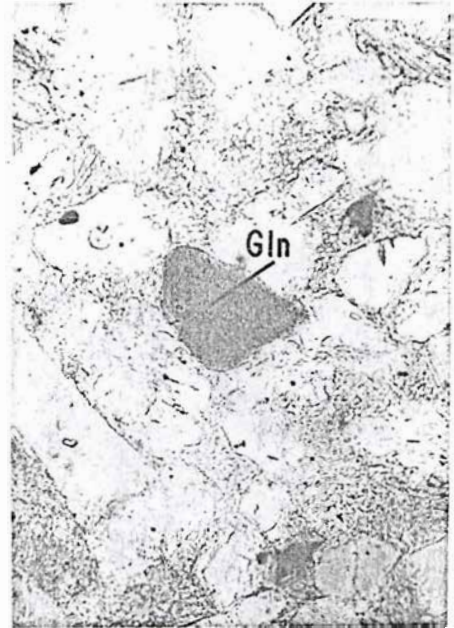
57. Fluorita (Flu). Muestra relieve y forma. Plagioclasa (Pl). Pol. II. Granito. Macizo de Santander.



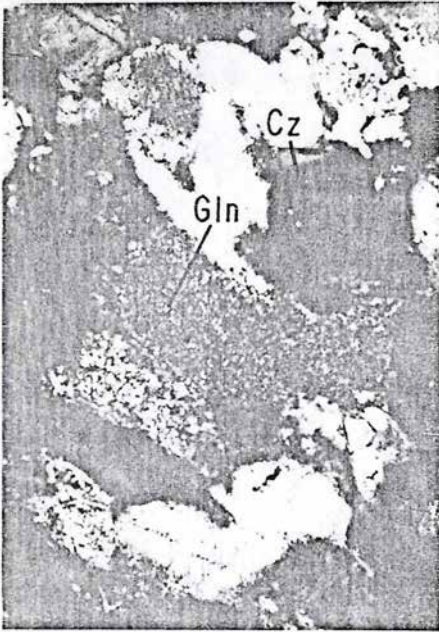
58. Glaucofano (Gf). Muestra forma y clivaje en dos direcciones. Sección transversal. Pol. X. Esquisto. Jambaló, Cauca.



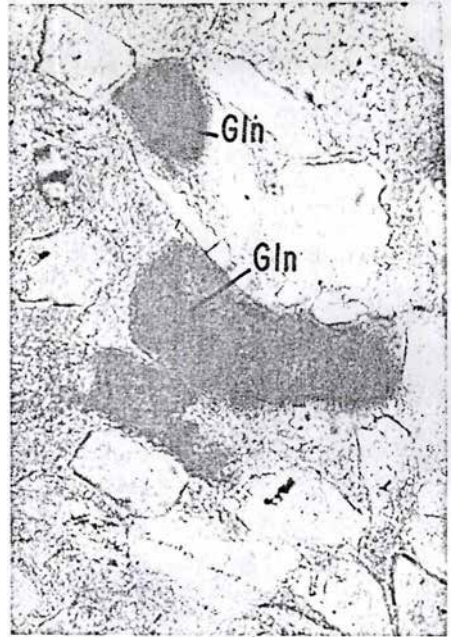
59. Glauconita (Gln). Cuarzo (Cz) Pol. X. Arenisca. Formación Guadalupe, Boyacá.



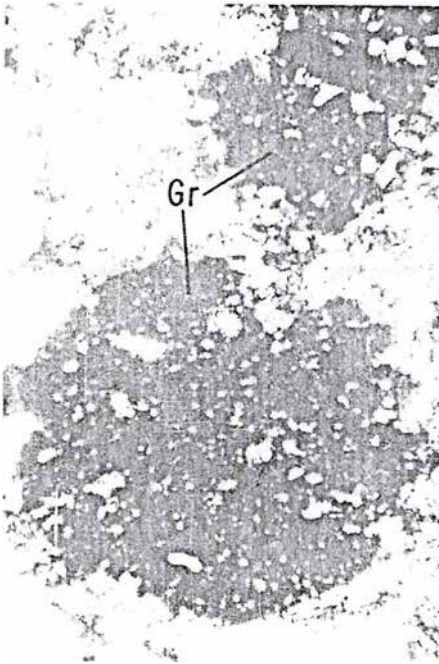
60. Glauconita (Gln) en arenisca. Pol. II. Arenisca. Formación Guadalupe, Boyacá.



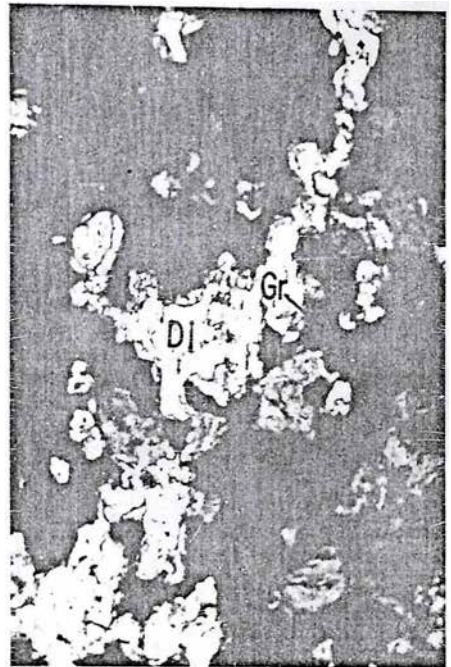
61. Glauconita (Gln). Cuarzo (Cz). Pol. X. Arenisca. Formación Guadalupe, Boyacá.



62. Glauconita (Gln). Pol. X. Arenisca. Formación Guadalupe, Boyacá.



63. Granate (Gr). Muestra textura poikilítica. Pol. X. Neis. Macizo de Santander.



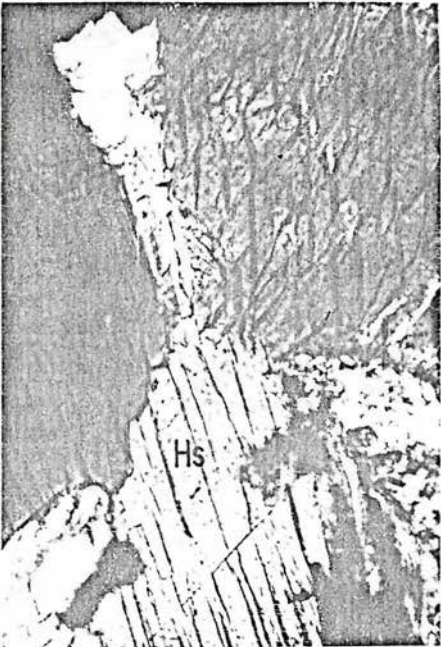
64. Granate (Gr) con inclusiones de diópsido (Di). Pol. X. Skarn. Cordillera Central, Antioquia.



65. Hastingsita (Hs). Muestra clivajes. Sección transversal. Pol. X. Gabro. Depresión del Patía, Cauca.



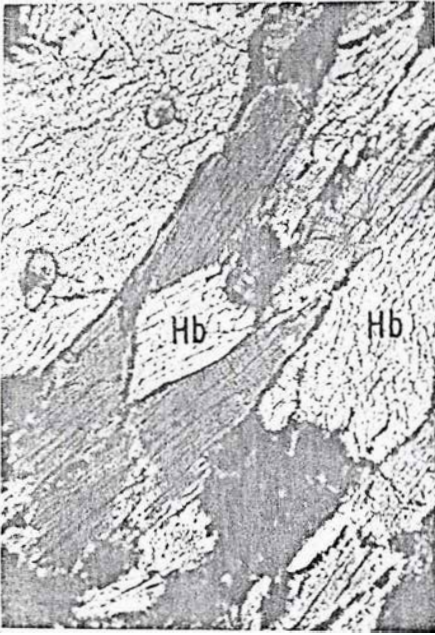
66. Hastingsita (Hs). Muestra clivajes. Sección transversal. Pol. II. Gabro. Depresión del Patía, Cauca.



67. Hastingsita (Hs). Muestra clivajes. Pol. X. Gabro. Depresión del Patía, Cauca.



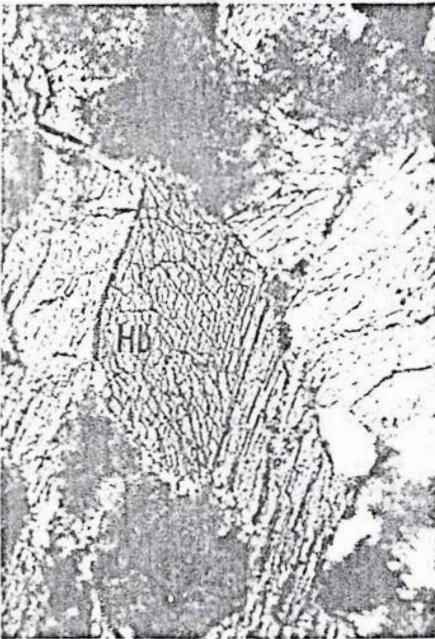
68. Hastingsita (Hs). Sección transversal. Pol. X. Gabro. Depresión del Patía, Cauca.



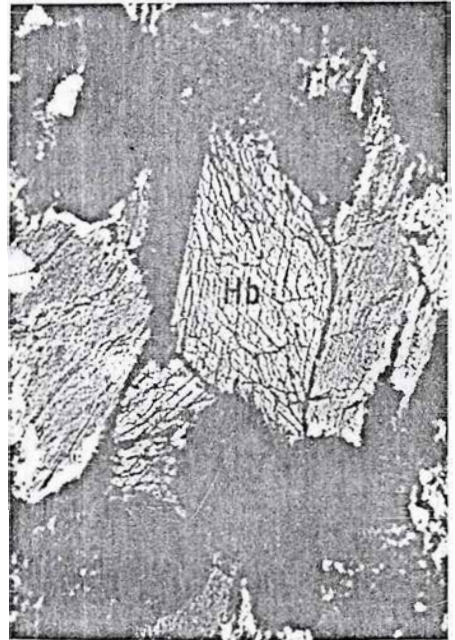
69. Hornblenda (Hb). Muestra 1 y 2 clivajes. Pol. X. Anfibolita. SW Nariño.



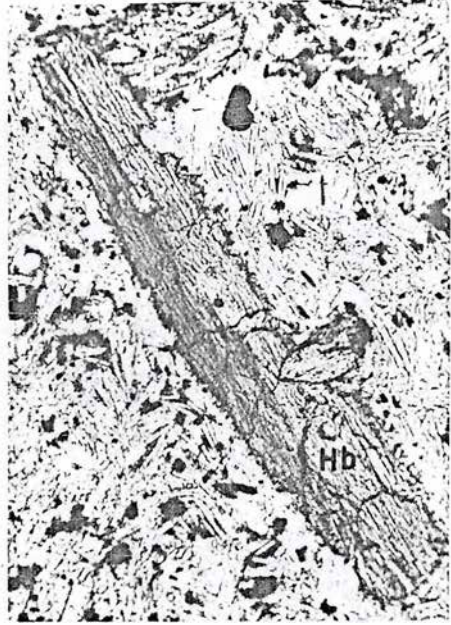
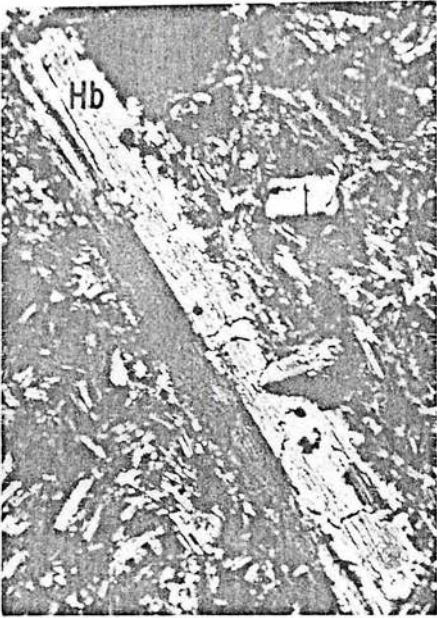
70. Hornblenda (Hb): Sección longitudinal. Muestra clivaje y borde de reacción. Pol. X. Pórfido andesítico. Cauca.



71. Hornblenda (Hb). Muestra dos clivajes en sección transversal. Pol. X. Anfibolita. SW Nariño.

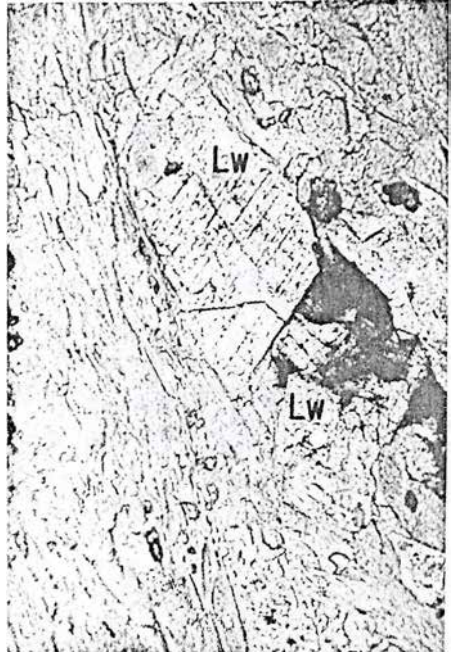


72. Hornblenda (Hb). Muestra forma, relieve y dos clivajes en sección transversal. Pol. X. Anfibolita. SW. Nariño.



73. Hornblenda (Hb). Muestra forma y macla. Sección longitudinal. Pol. X. Andesita. Cordillera Central, Cauca.

74. Hornblenda (Hb). Muestra forma. Sección longitudinal. Pol. II. Andesita. Cordillera Central, Cauca.

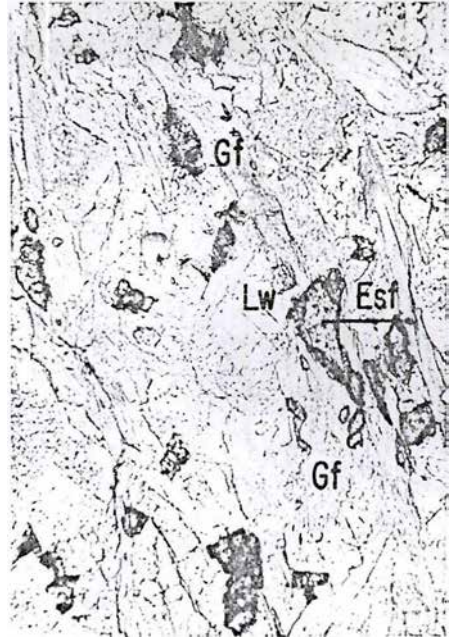


75. Lawsonita (Lw). Muestra clivaje. En esquist. Pol. X. Colección Ingeominas.

76. Lawsonita (Lw). Muestra clivaje. En esquist. Pol. II. Colección Ingeominas.



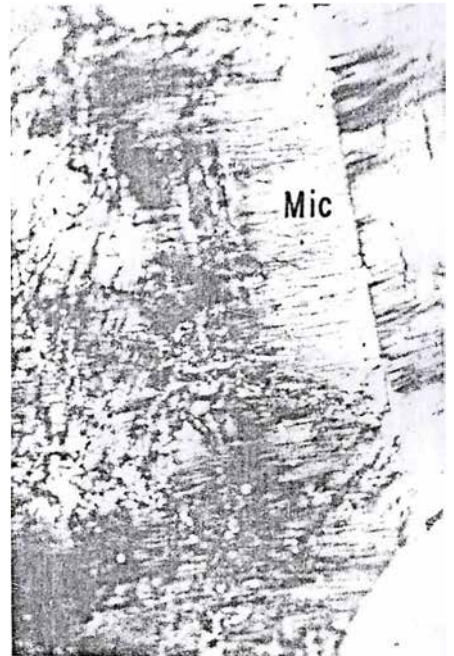
77. Lawsonita (Lw) con glaucofano (gf). En esquistos. Pol. X. Colección Ingeominas.



78. Lawsonita (Lw) con glaucofano (gf). En esquistos. Pol. II. Colección Ingeominas.



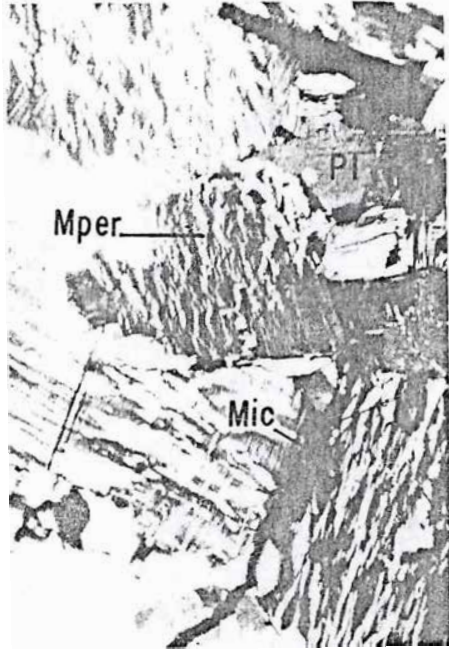
79. Microlina (Mic). Muestra macla típica. Canrinita (Cc). Pol. X. Sienita. San José del Guaviare. (Colección Jairo Vesga).



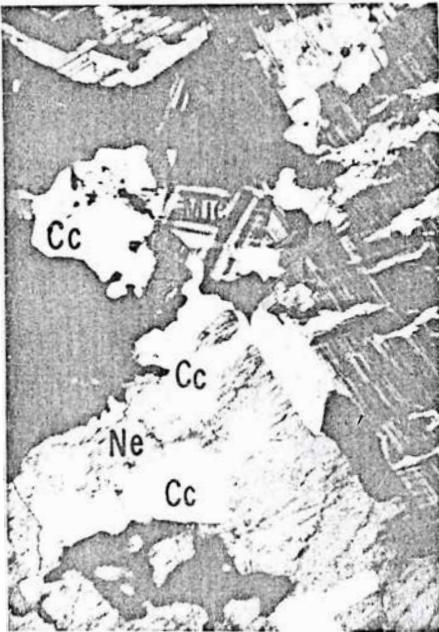
80. Microlina (Mic). Pol. X. Granito. Macizo de Santander.



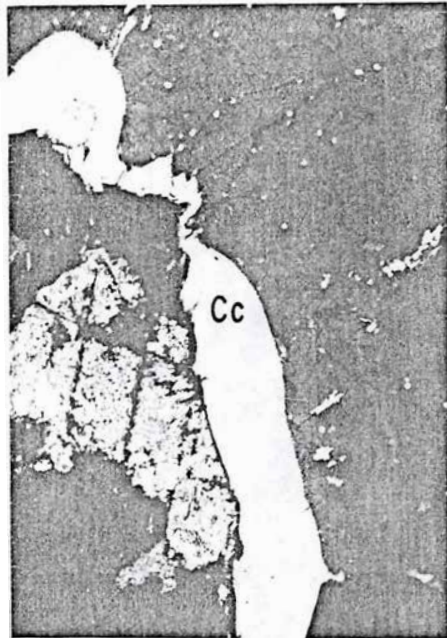
81. Microclina (Mic). Muestra macla. Pol. X. Granito. Macizo de Santander.



82. Microperthita (Mper). Con Microclina (Mic) y Plagioclasa (Pl). Pol. X. Granito. Macizo de Santander.



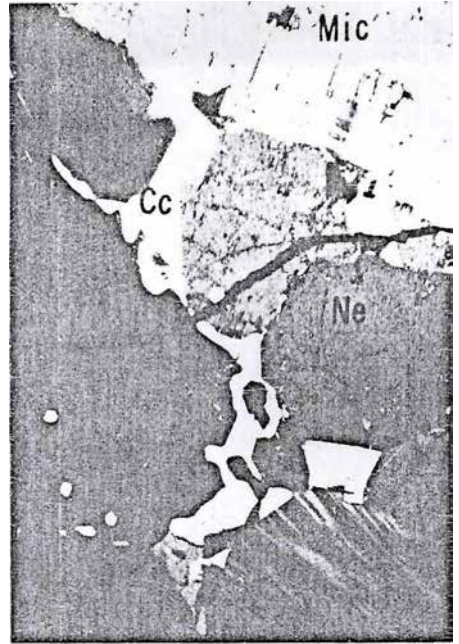
83. Nefelina (Ne). Cancrinita (Cc) y microclina (Mic). Pol. X. Sienita. San José del Guaviare. (Colección Jairo Vesga).



84. Nefelina (Ne) y cancrinita (Cc) Pol. X. Sienita. San José del Guaviare. (Colección Jairo Vesga).



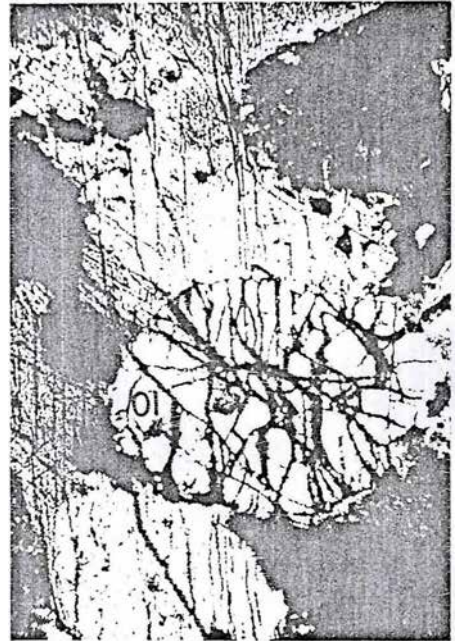
85. Nefelina (Ne) y Microclina (Mic). Pol. X. Sienita. San José del Guaviare. (Colección Jairo Vesga).



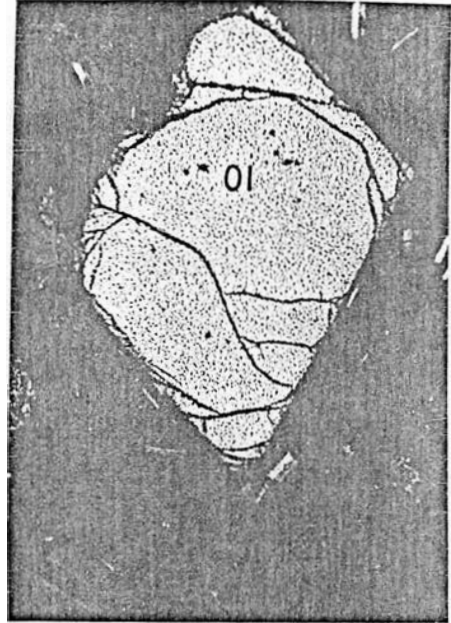
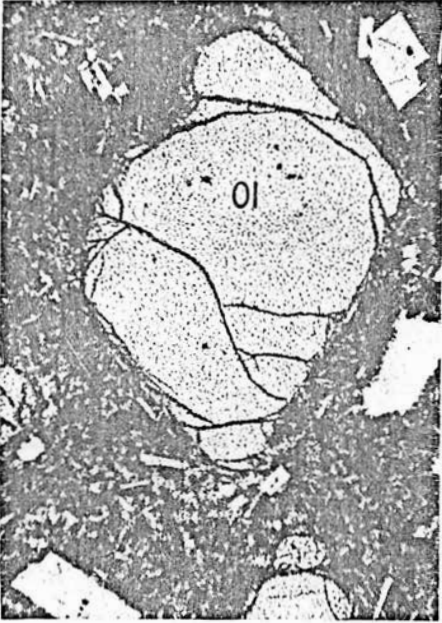
86. Nefelina (Ne). Cancrinita (Cc), Microclina. (Mic). Pol. X. Sienita. San José del Guaviare. (Colección Jairo Vesga).



87. Olivino (Ol). Muestra forma y relieve. Pol. II. Gabro. Río Vaupés. (Colección Jaime Galviz).

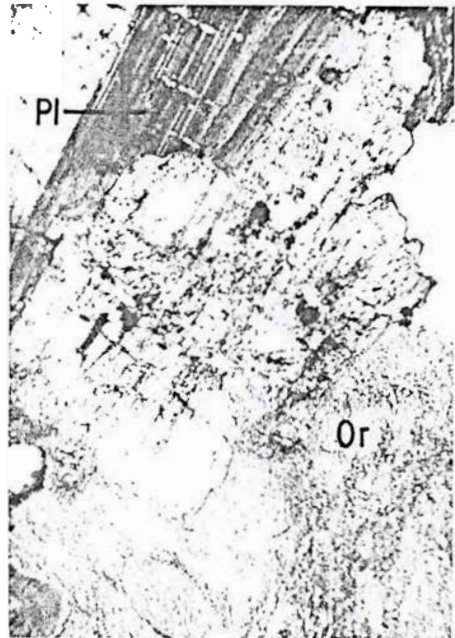
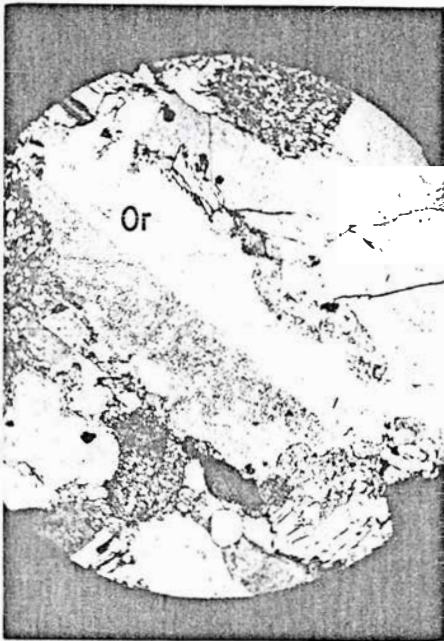


88. Olivino (Ol). Muestra forma y relieve. Pol. X. Gabro. Río Vaupés. (Colección Jaime Galviz).



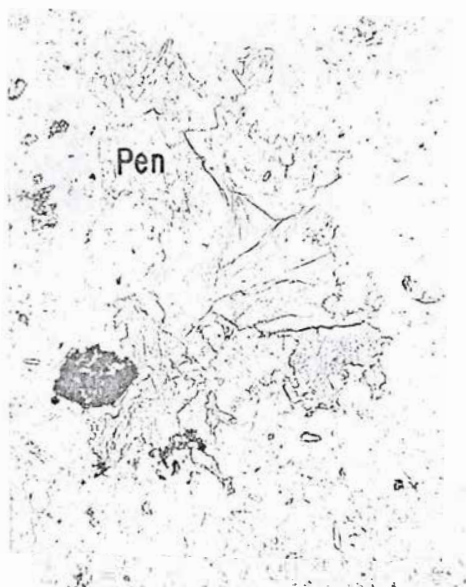
89. Olivino (Ol). Muestra forma. Pol. II. Picrita. Cabo Corrientes. (Colección Jaime Galviz).

90. Olivino (Ol). Muestra forma. Pol. X. Picrita. Cabo Corrientes. (Colección Jaime Galviz).

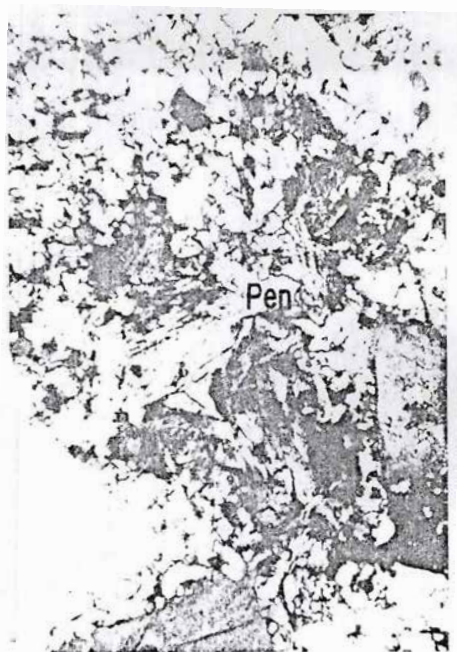


91. Ortoclasa (Or). Muestra macla. Pol. X. Granito. Río Iteviare.

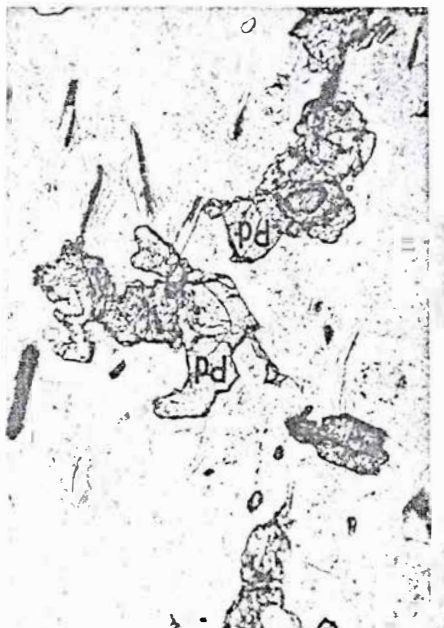
92. Ortoclasa (Or). Plagioclasa (Pl) Pol. X. Granito. Macizo Santander.



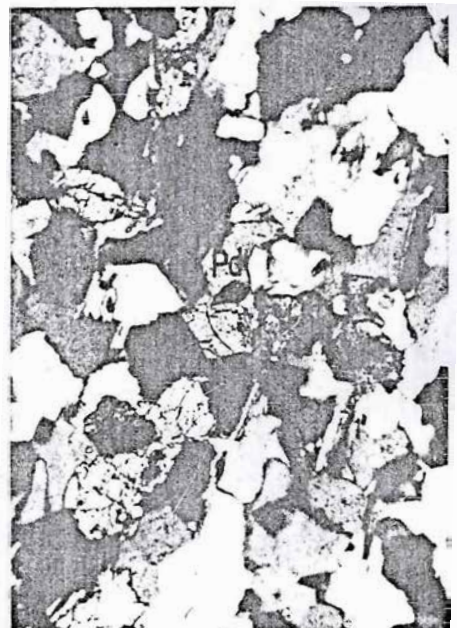
93. Penninita (Pen). Muestra relieve y forma. Pol. II. Pórfido dacítico. Depresión del Patía, Cauca.



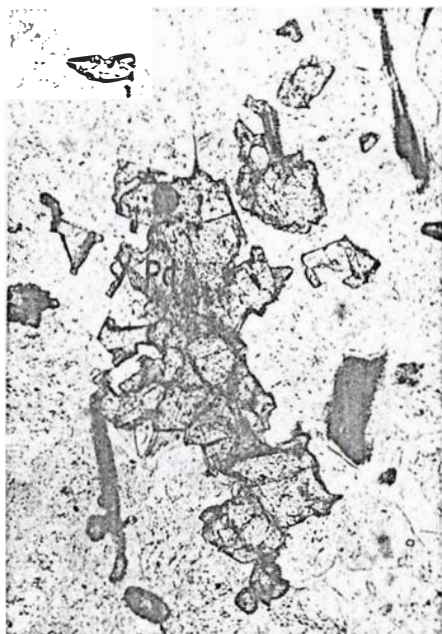
94. Penninita (Pen). Muestra forma. Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión del Patía, Cauca.



95. Piedmontita (Pd). Muestra relieve. Pol. II. Mataarenisca. Amazonas.



96. Piedmontita (Pd). Muestra relieve. Pol. X. Mataarenisca. Amazonas.



97. Piedmontita (Pd). Muestra relieve. Pol. II. Mataarenisca. Amazonas.



98. Piedmontita (Pd). Muestra relieve. Pol. X. Mataarenisca. Amazonas.



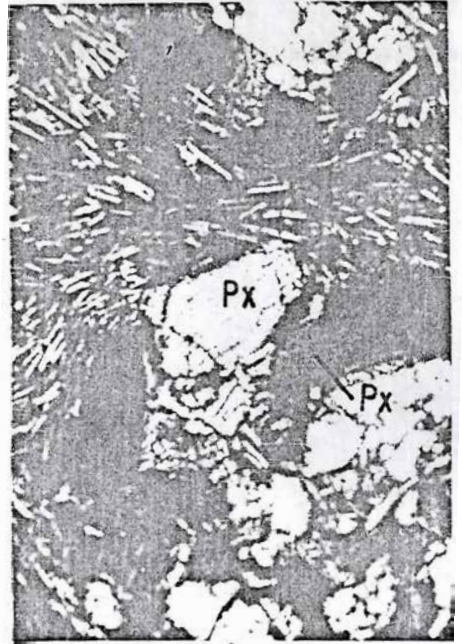
99. Piroxeno (Px). Muestra relieve y clivaje. Pol. X. Microgabro. Cordillera Occidental, Cauca.



100. Piroxeno (Px). Muestra clivaje. Pol. X. Microgabro. Cordillera Occidental, Cauca.



101. Piroxeno (Px). Muestra forma y relieve. Roca volcánica. Pol. II. Andesita. Puracé, Cauca.



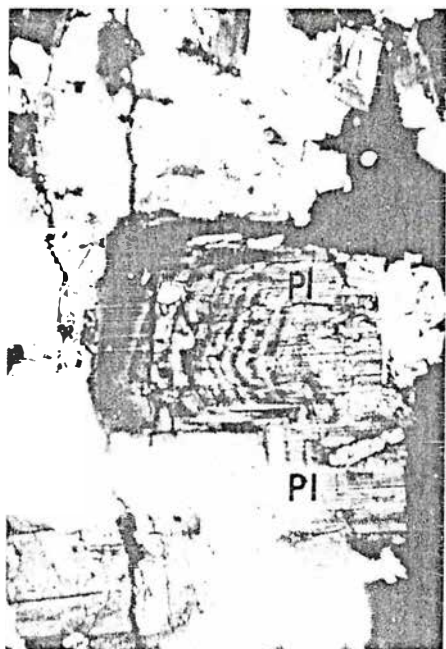
102. Piroxeno (Px) en roca volcánica. Pol. X. Andesita. Puracé, Cauca.



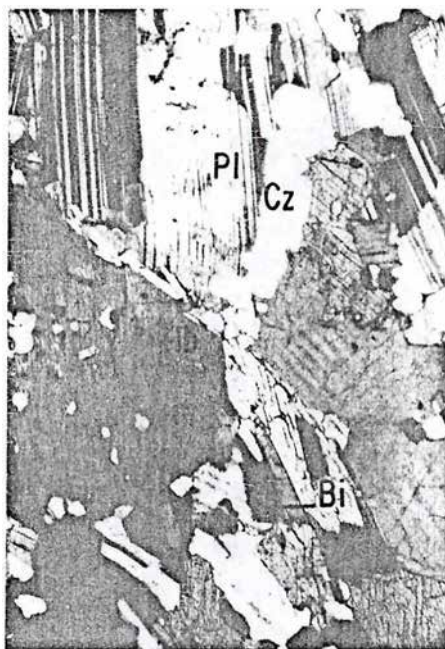
103. Plagioclasa (Pl). Muestra zonación y maclamiento laminar. Pol. X. Cuarzodiorita. Depresión del Cauca, Cauca.



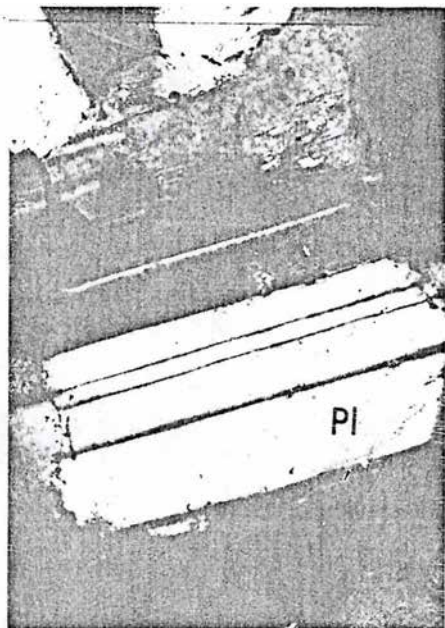
104. Plagioclasa (Pl). Muestra zonación y macla de Carlsbad. Pol. X. Pórfido dacítico. Depresión del Patía, Cauca.



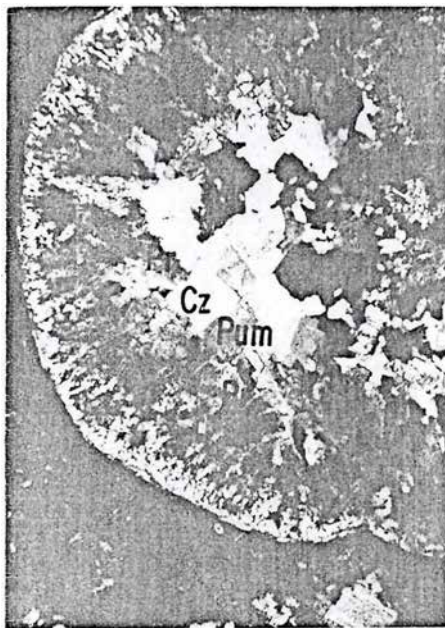
105. Plagioclasa (Pl). Muestra zonación y maclamiento laminar. Pol. X. Cuarzodiorita. Cordillera Central, Cauca.



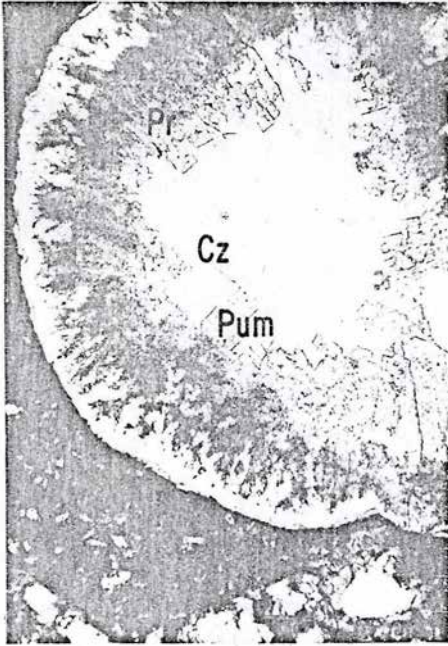
106. Plagioclasa (Pl). Muestra macla de albita - Carlsbad. Cuarzo (Cz), biotita (Bi) y hornblenda (Hb). Cuarzodiorita. Toribio, Cauca.



107. Plagioclasa (Pl). Muestra macla de albita - Carlsbad. Pol. X.



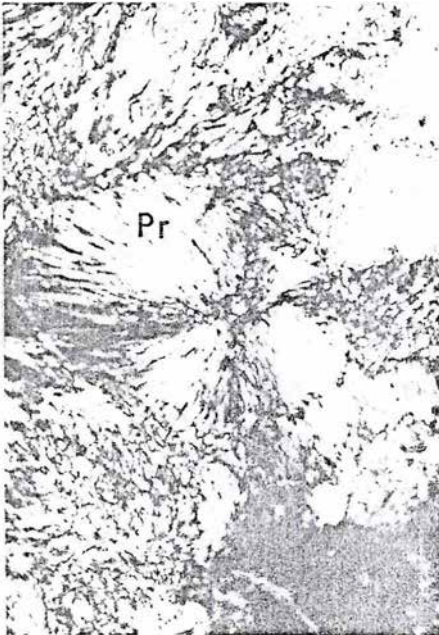
108. Prehnita (Pr). Pumpellita (Pum) y cuarzo (Cz) en amigdula. Pol. X. Basalto. Cordillera Occidental, Nariño.



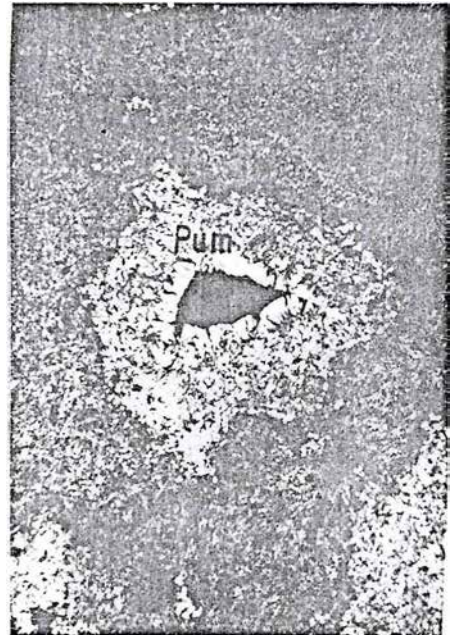
109. Prehnita (Pr). Pumpellita (Pum) y cuarzo (Cz) en amígdula. Pol. II. Basalto. Cordillera Occidental, Nariño.



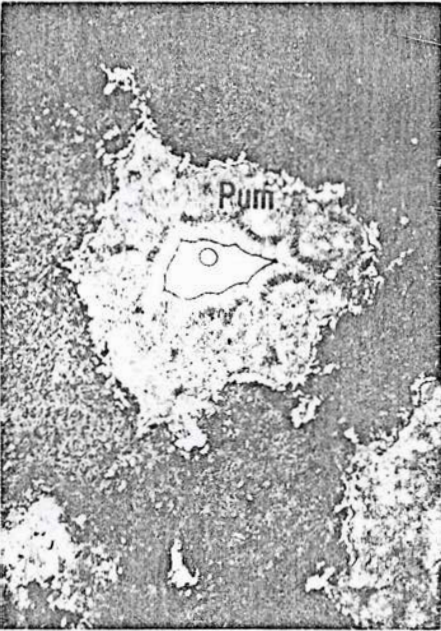
110. Prehnita en amígdula (Pr). Muestra hábito. Pol. X. Basalto. Cordillera Occidental, Nariño.



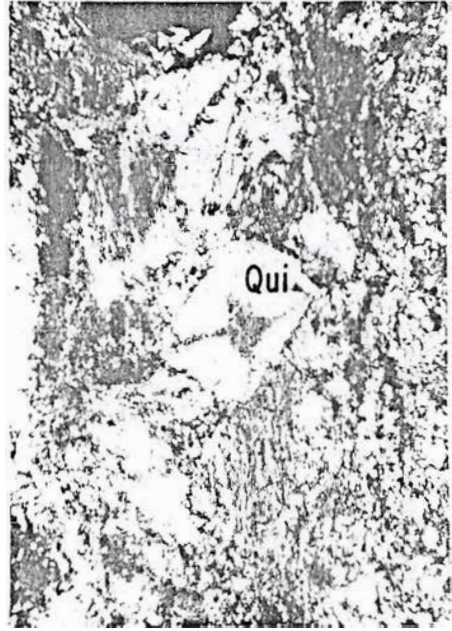
111. Prehnita. Muestra hábito en "corbatín". Pol. II. Basalto. Cordillera Occidental. Nariño.



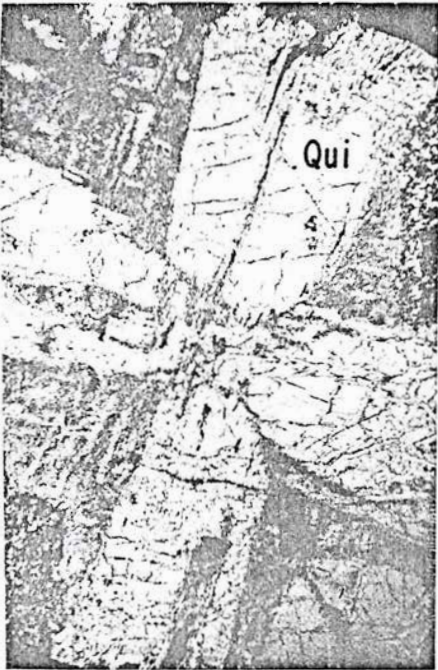
112. Pumpellita (Pum). Muestra hábito y ocurrencia en amígdula. Pol. X. Basalto. Cordillera Occidental, Nariño.



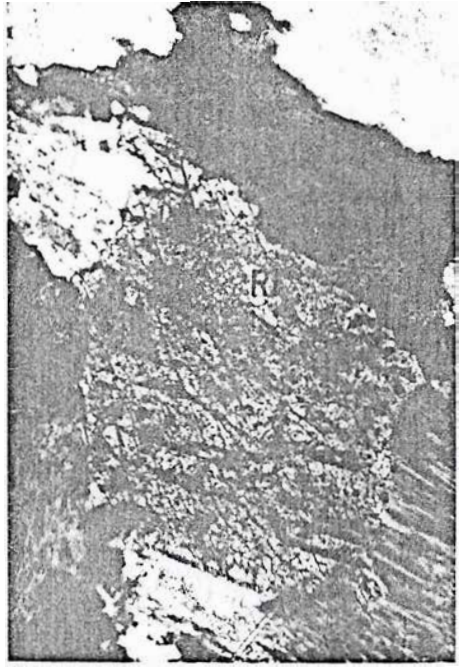
113. Pumpellita (Pum) en amigdula. Pol. II. Basalto. Cordillera Occidental, Nariño.



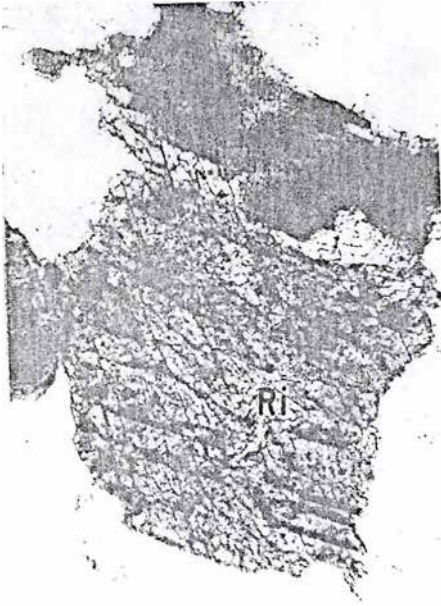
114. Quiastolita (Qui). Sección basal. Muestra forma. Pol. X. Esquisto pelítico. SE Nariño.



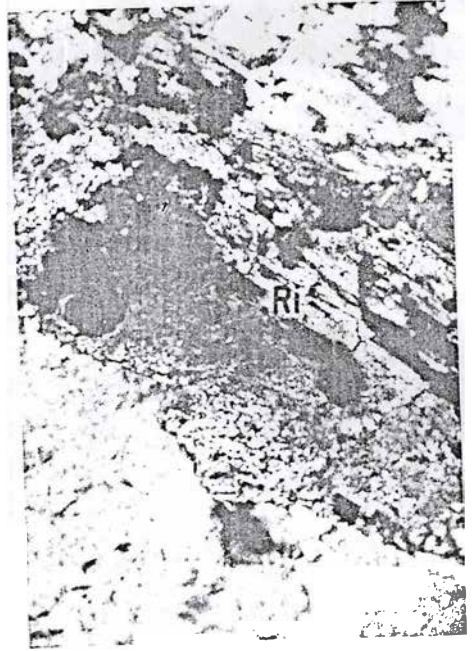
115. Quiastolita (Qui). Muestra macla en cruz. Pol. X. Esquisto pelítico. Cordillera Central, Tolima.



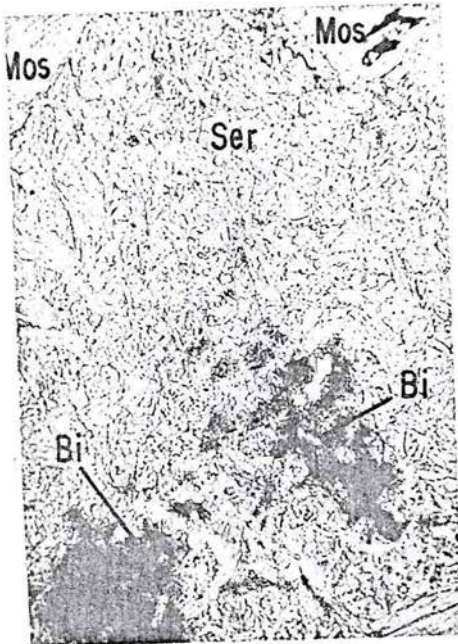
116. Riebeckita (Ri). Muestra clivaje en dos direcciones. Pol. X. Granito riebeckítico. Macizo de Santander.



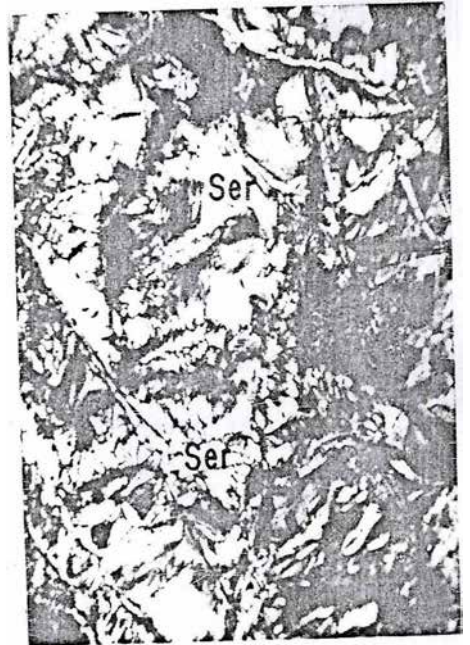
117. Riebeckita (Ri). Muestra clivaje en dos direcciones. Pol. X. Granito riebeckítico. Macizo de Santander.



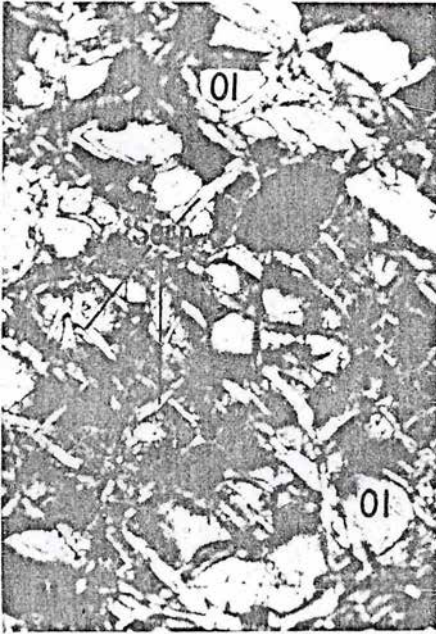
118. Riebeckita (Ri). Pol. X. Granito riebeckítico. Macizo de Santander.



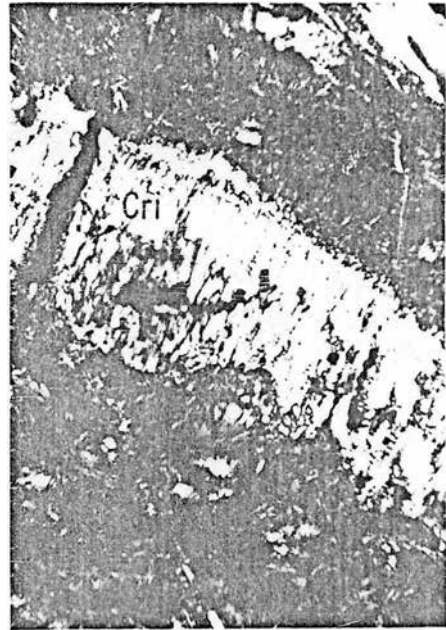
119. Sericita (Ser). Biotita (Bi) arracimada. Alteración potásica. Moscovita (Mos). Pol. II. Andesita. Mocoa, Putumayo.



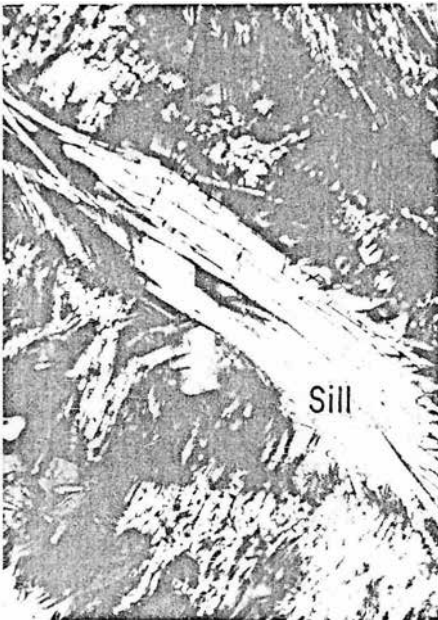
120. Serpentinita (Ser) (Minerales de). Pol. X. Roca ultramáfica. Guayabillas. Cauca.



121. Serpentina (Ser). (Minerales \blacktriangle) Olivino (Ol). Pol. II. Roca ultramáfica. Guayabillas, Cauca.



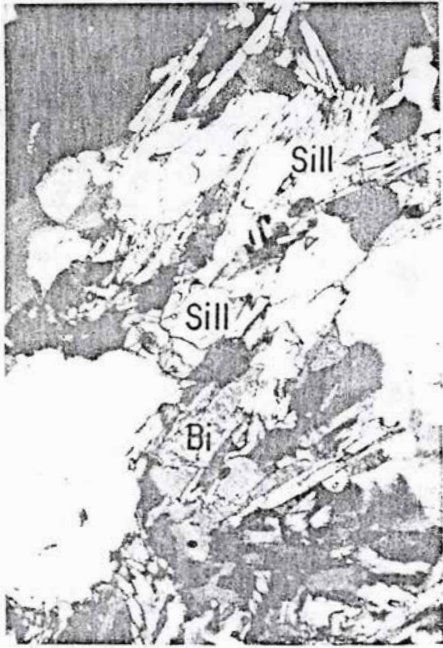
122. Serpentina (Ser). (Minerales \blacktriangle) Crisotilo (Cri) en venilla. Pol. X. Roca ultramáfica. La Sierra, Cauca.



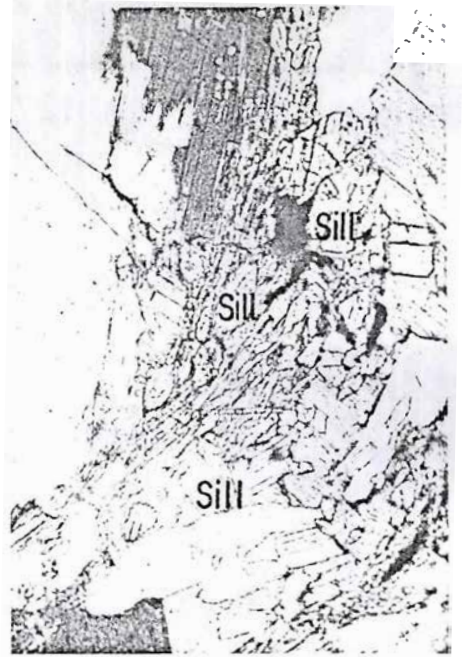
123. Sillimanita (Sill). Muestra forma. Pol. X. Esquisto pelítico. Macizo de Santander.



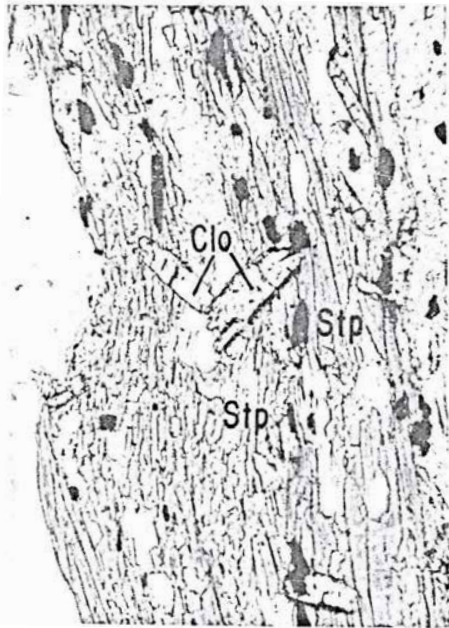
124. Sillimanita (Sill). Sección basal. Biotita (Bi). Pol. II. Esquisto pelítico. Macizo de Santander.



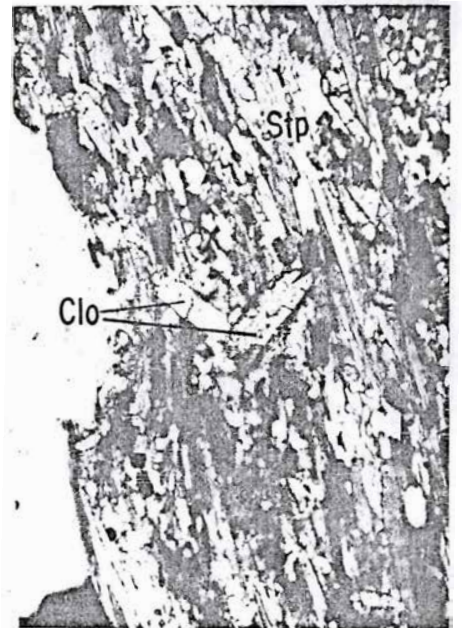
125. Sillimanita (Sill) con biotita (Bi). Pol. X. Esquisto pelítico. Macizo de Santander.



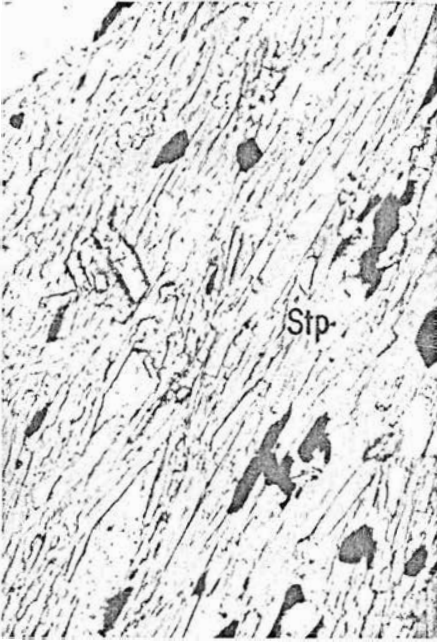
126. Sillimanita (Sill). Muestra sección basal. Pol. II. Esquisto pelítico. Cordillera Central, Tolima.



127. Stilpnomelano (Stp). Muestra forma y clivaje. Cloritoide (Clo). Muestra forma e índice de refracción alto. Pol. II. Esquisto. Jambaló, Cauca.



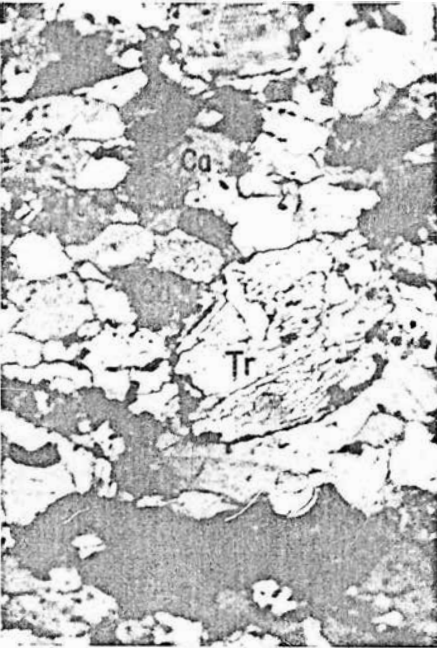
128. Stilpnomelano (Stp) y cloritoide (Clo) Pol. X. Esquisto. Jambaló, Cauca.



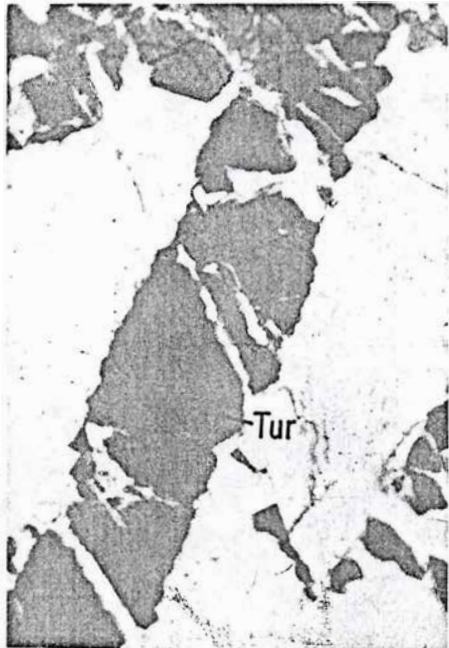
129. Stilpnomelano (Stp). Muestra forma. Pol. II. Esquisto. Jambaló, Cauca.



130. Tremolita (Tr). Muestra macla. Sección longitudinal. Pol. X. Mármol de Nus. Antioquia.



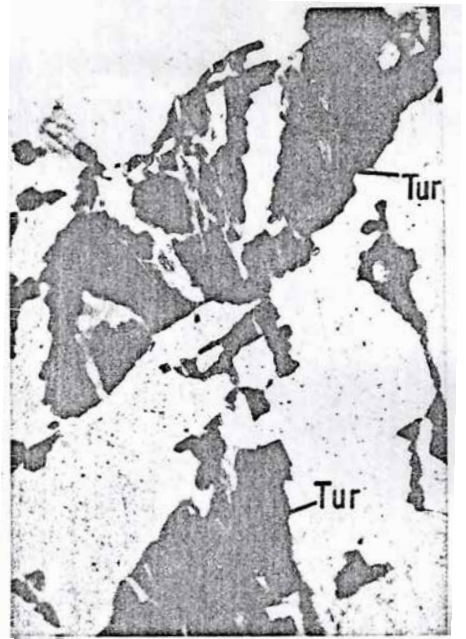
131. Tremolita (Tr). Sección transversal. Muestra dos clivajes. Calcita (Ca). Pol. X. Mármol de Nus. Antioquia.



132. Turmalina (Tur). Sección longitudinal. Muestra forma. Pol. II.



133. Turmalina (Tur). Sección longitudinal. Microclina (Mic) Pol. X. Neis pelítico. Río Guainía.



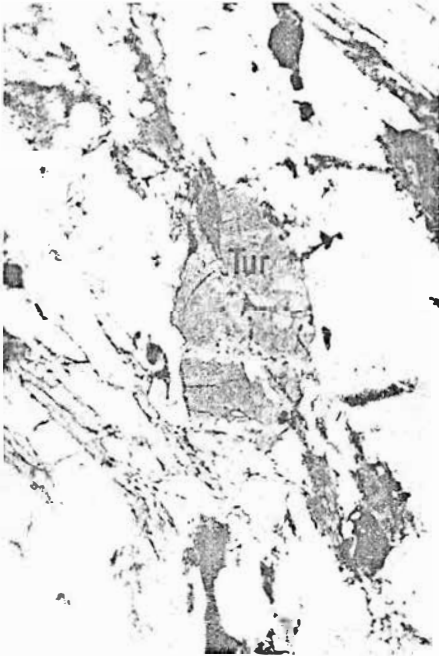
134. Turmalina (Tur). Pol. II. Neis pelítico. Río Guainía.



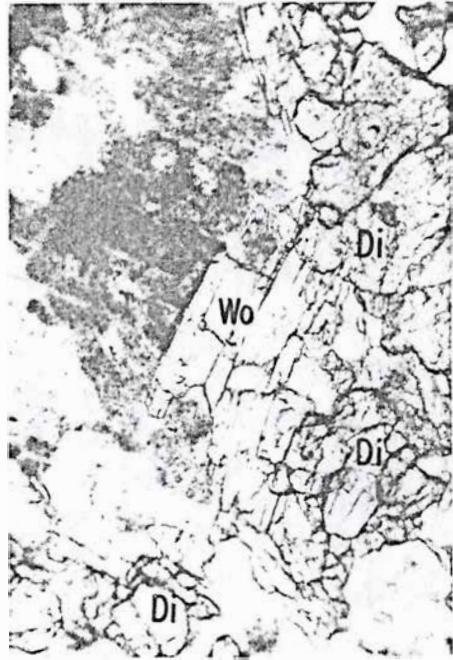
135. Turmalina (Tur). Microclina. (Mic) Pol. X. Neis pelítico. Río Guainía.



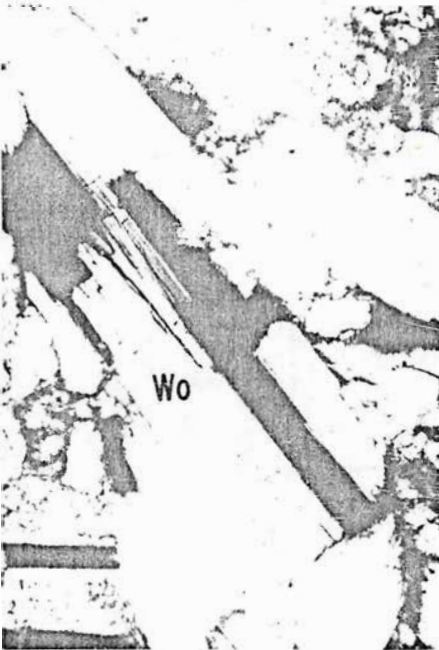
136. Turmalina (Tur). Pol. X. Esquistó micáceo. Macizo de Santander.



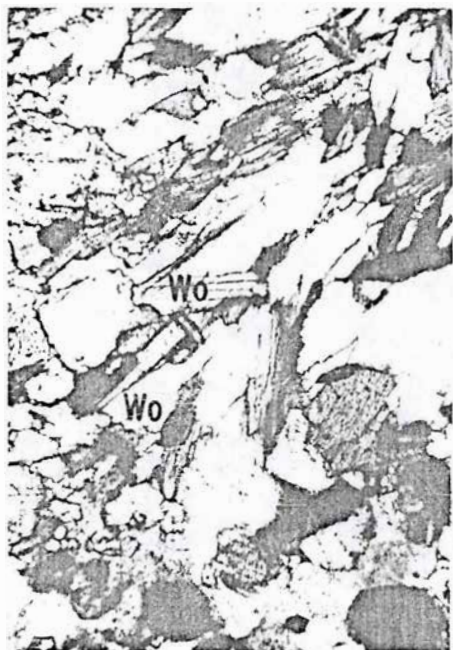
137. Turmalina (Tur). Pol. II. Esquisto micáceo. Macizo de Santander.



138. Wollastonita (Wo). Muestra forma y clivaje. Pol. X. Mármol de Nus. Antioquia.



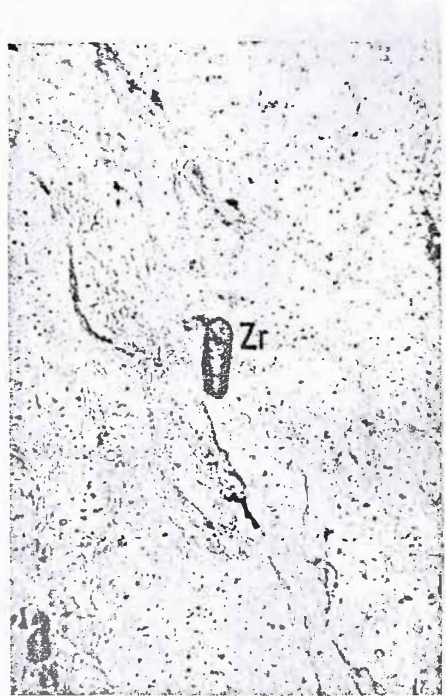
139. Wollastonita (Wo). Muestra forma. Pol. X. Mármol de Nus. Antioquia.



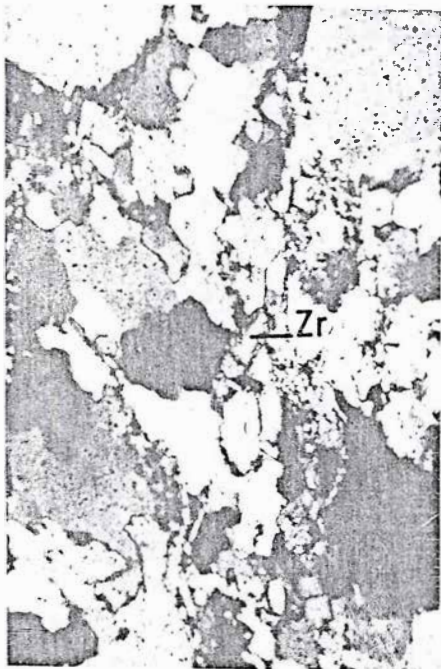
140. Wollastonita (Wo). Muestra forma y clivaje. Pol. X. Mármol de Nus. Antioquia.



141. Wollastonita (Wo). Muestra forma y clivaje. Pol. X. Mármo de Nus. Antioquia.



142. Zircón (Zr). Muestra relieve y forma. Pol. II. Cuarcita. Bolívar, Cauca.



143. Zircón. (Zr). Muestra relieve y forma. Pol. X. Cuarcita. Bolívar, Cauca.

19. TABLAS PARA LA IDENTIFICACION DE MINERALES FORMADORES DE ROCA EN SECCION DELGADA

Estas Tablas fueron traducidas por el autor, de la obra de Cordell Durrell (1949) "A KEY TO THE COMMON ROCK-FORMING MINERALS IN THIN SECTION"
En su traducción cooperó la Sección Técnica de la Oficina Regional de Popoacán.

MINERALES ISOTROPICOS

REF. LIT. VE	COLOR	CLIVAJE	FORMA	MINERAL	OBSERVACIONES
NEGATIVO	INCOLORO	CON CLIVAJE	Sin	Analcita	Primario en algunas diabasas y basaltos. Secundario en algunas sienitas y otras rocas ígneas alcalinas. Anhedral excepto en drusas. Puede ser claro y vidrioso. Principalmente opaco debido a alteración.
			Contornos		
			Definidos	Fluorita	Clivaje octaédrico perfecto. Relieve negativo moderado.
				Sodalita	Anhedral en rocas plutónicas. Asociado con nefelina, leucita, cancrinita, piroxeno y anfíboles alcalinos. El clivaje se observa solamente en granos mayores. Euhedral en rocas volcánicas. Con frecuencia presenta un borde azul. Con frecuencia presenta una nube central de inclusiones orientadas.
			Con	Sodalita	
			Contornos	Sodalita	
			Definidos	Leucita	En rocas volcánicas solamente. Con frecuencia con inclusiones orientadas. Baja birrefringencia (.002) y maclamiento laminar complejo en cristales mayores. Asociada con feldespatoides, piroxenos y anfíboles alcalinos.
		SIN CLIVAJE	Sin	Analcita	Primario en algunas diabasas y basaltos. Secundario en algunas sienitas y otras rocas ígneas alcalinas. Anhedral excepto en drusas. Puede ser claro y vidrioso. Principalmente opaco debido a alteración.
			Contornos	Sodalita	Anhedral en rocas plutónicas y volcánicas debido a reabsorción. Asociada con nefelina, piroxeno y anfíboles alcalinos. El clivaje se puede observar en granos mayores.
			Definidos	Vidrio	Puede ser macizo o bandeado o con fracturas irregulares. Variable en color. Incluye cristales, cristallitos, microilitos y esferulitos.
				Opalo	Secundario solamente. En vesículas, otras cavidades y en venas. Puede reemplazar otros minerales preservando las texturas y estructuras originales.
				Opalo	

MINERALES ISOTROPICOS

RELIEVE	COLOR	CLIVAJE	FORMA	MINERAL	OBSERVACIONES
NEGATIVO	ROSADO	CON CLIVAJE	Sin Contorno Definido	Fluorita	Clivaje perfecto octaédrico. Relieve negativo moderado. Pálido a profundamente coloreado, variable en intensidad en un cristal sencillo.
	VIOLETA			Fluorita	
				Fluorita	
	AZUL	CON CLIVAJE	Con o Sin Contorno Definido	Sodalita	Anhedral y azul pálido en rocas plutónicas. Euhedral o cristales reabsorbidos en rocas volcánicas. Generalmente con una nube central de inclusiones orientadas negras y con un borde azul. Asociada con nefelina, piroxenos y anfíboles alcalinos.
				Sodalita	
		SIN CLIVAJE	Sin Contorno Definido	Opalo	Secundario solamente. En vesículas, otras cavidades y en venas. Puede reemplazar otros minerales preservando las texturas originales.
				Lazurita	Azul oscuro a claro, variable en un cristal sencillo. Puede presentar birrefringencia débil. En calizas metamórficas de contacto. Asociado con calcita y diópsido, moscovita y pirita.
	VERDE	CON CLIVAJE	Sin Contorno Definido	Fluorita	Clivaje perfecto octaédrico. Relieve negativo moderado. Pálido a profundamente coloreado, variable en intensidad en un cristal sencillo.
				Analcita	
		SIN CLIVAJE	Sin Contorno	Analcita	Verde pálido a gris o blanco. Primario en algunas diabasas y basaltos. Secundario en algunas sienitas y otras rocas ígneas alcalinas. Puede ser claro y vidrioso pero, principalmente opaco debido a alteración.
				Lazurita	
			Definido	Opalo	Verde, verde azulado, variable en un cristal sencillo. Puede tener birrefringencia débil. En calizas metamórficas de contacto. Asociado con calcita, diópsido, moscovita y pirita.
Opalo					
AMARILLO				Secundario solamente. En vesículas, otras cavidades y venas. Puede reemplazar otros minerales y preservar las texturas y estructuras originales.	

MINERALES ISOTROPICOS

UNIVERSIDAD NACIONAL

RELIEVE	COLOR	CLIVAJE	FORMA	MINERAL	OBSERVACIONES
NEGATIVO	AMARILLO	SIN CLIVAJE	Sin	Vidrio	Puede ser macizo o bandeado, o con fracturas irregulares. Encierra cristales, cristallitos, microlitos, esferulitos. Variable en color. Relieve: varía de muy bajo a moderado.
	CARMELITA			Vidrio	
				Vidrio	
	GRIS	CON CLIVAJE	Contorno	Analcita	Gris, gris verdoso, blanco. Claro opaco. Primario en algunas diabasas y basaltos. Secundario en algunas sienitas y otras rocas ígneas alcalinas.
POSITIVO	INCOLORO	SIN CLIVAJE	Definido	Analcita	Puede ser macizo, bandeado o con fracturas irregulares. Puede incluir cristales, cristallitos, microlitos, esferulitos. Variable en color. Los vidrios con relieve positivo se alteran fácilmente. El relieve varía de bajo a moderado.
	GRIS AMARILLO CARMELITA			Vidrio	
EDIO	INCOLORO AMARILLO LIGERO CARMELITA	100 BUENO	Tetragonal Tableta 001 Anhedral Poikil.	Melilita	Efectivamente isotrópico. Puede ser uniaxial, positivo o negativo. Frecuentemente isotrópico en el centro de los cristales, con anillos de birrefringencia débil. Puede mostrar color ultra azul. Clivaje bueno en 001. En rocas ígneas básicas alcalinas. Asociado con nefelina y leucita.

GAER EL PAR SO

MINERALES ISOTROPICOS

RELIEVE	COLOR	FORMA Y CONTORNO	MINERAL	OBSERVACIONES	
MUY ALTO	INCOLORO	Octaédrico Cuadrados Rectangulares Triángulos	Espinela	Espinela propia. No común. Principalmente en dolomitas metamórficas de contacto. Se distingue del granate solamente por la forma del cristal. Asociada con corindón, flogopita, brucita, forsterita y calcita.	
		Dodecaédrico Trapezoédrico Muchos lados o Anhedral	Grosularita	Granular irregular o cristales bien formados. En cornubiana de silicatos cálcicos. Rara en rocas ígneas. Asociada con diópsido, plagioclasa, calcita o cuarzo e idocrasa.	
	ROSADO	Anhedral	Almandina	Almandina	Granate rojo común. Incoloro o rosado en sección delgada. Se altera a clorita. Ocurre en gran variedad de rocas ígneas y metamórficas.
			Espinela		Espinela propia. No común. Principalmente en dolomitas metamórficas de contacto. Se distingue del granate solamente por la forma del cristal. Asociada con corindón, flogopita, brucita, forsterita y calcita.
	VIOLETA	Anhedral	Espinela	Espinela	Espinela propia. No común. Principalmente en dolomitas metamórficas de contacto. Se distingue del granate solamente por la forma del cristal. Asociada con corindón, flogopita, brucita, forsterita y calcita.
			Dodecaédrico Trapezoédrico Muchos lados o Anhedral	Espesartita	Ocurre en chert manganíferos metamorfosados, con rodonita, rodocrosita, también en meta riolitas, raro en riolitas frescas.
	ROJO	Anhedral	Piropo	Piropo	Granate rojo profundo. Principalmente en peridotitas, serpentinitas y algunos neises. Se distingue de la espinela solo por la forma cristalina.
			Octaédrico Cuadrados Rectángulos Triángulos Anhedral	Espinela, Rubí	Espinela rubí rara. Variedad de espinela rara. Principalmente en dolomitas de metamorfismo de contacto. Se distingue del granate solamente por la forma de los cristales. Asociada con corindón, flogopita, brucita, forsterita y calcita.

MINERALES ISOTROPICOS

RELIEVE	COLOR	FORMA Y CONTORNO	MINERAL	OBSERVACIONES	
MUY ALTO	VERDE	Octaédrico Cuadrados Rectángulos Triángulos Anhedral	Pleonasto	Pleonasto o pleonaste. Espinela verde común. Ocurre en rocas ígneas básicas y ultrabásicas y en sus equivalentes metamórficos. Pálida a brillante o verde profundo.	
			Picotita	Verde oliva, opaco a verde carmelitoso. Cristales y granos irregulares en rocas básicas y ultrabásicas.	
		Dodecaédrico Trapezoédrico Muchos lados o Anhedral	Uvarovita	Granate verde brillante, raro. Principalmente en venas, en serpentinitas.	
	Andradita		Andradita. Granate anaranjado a carmelito. Casi siempre ocurre con hedembergita o diópsido verde. También con epidota y con wollastonita, plagioclasa. En rocas ígneas básicas con metamorfismo y en metacalizas.		
	Melanita		Carmelita oscuro a carmelita anaranjado. Zonación con fuertes colores. Es la variedad titanífera de andradita. En rocas ígneas básicas alcalinas con nefelina, leucita, piroxenos y anfíboles alcalinos.		
	CARMELITA		Octoédrico Cuadrados Rectángulos Triángulos Anhedral	Picotita	Verde oliva opaco a verde carmelitoso. Cristales y granos irregulares en rocas básicas y ultrabásicas.
				Cromita	Carmelita solamente con lente convergente y se presenta así solamente en la parte central del cristal. Negra con luz reflejada. En rocas ígneas básicas y ultrabásicas y en serpentinitas.
				Espinela	Gris clara. Espinela propia. Principalmente en dolomitas con metamorfismo de contacto. Se distingue del granate solamente por la forma de los cristales. Asocia-da con corindón, flogopita, brucita, forsterita, calcita.
EXT.	AMARILLO a CARMELITA	Octoédrico, Cúbico Dodecaédrico Principalmente	Perouskita	Submetálica en luz reflejada. Se presenta en rocas ígneas básicas y ultrabásicas tales como kimberlita y rocas portadores de melilita.	
	GRIS				

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
NEGATIVO	INCOLORO	(-)	BAJA	Nefelina	Hexagonal	Prismático corto. Clivaje prismático pobre. En rocas ígneas alcalinas solamente. Anhedral en plutónicas, subhedral en volcánicas. Asociada con leucita o cancrinita, piroxeno y anfíboles alcalinos.
			MODERADA a FUERTE	Cancrinita	Hexagonal	Clivaje prismático perfecto. Relieve negativo. Sin forma cristalina. Solamente en rocas ígneas plutónicas alcalinas. Asociada con nefelina, piroxenos y anfíboles alcalinos.
			EXTREMA	Calcita	Hexagonal	Clivaje: romboédrico perfecto. "Titila" al rotar la platina. No son separables excepto mediante medidas de índices de refracción o análisis químico. Se puede asumir su composición en base a su ocurrencia.
				Dolomita		
				Magnesita		
POSITIVO BAJO	INCOLORO	(+)	BAJA	Cuarzo	Hexagonal	Generalmente sin clivaje y con fracturas irregulares. Pule a superficies suaves. Generalmente anhedral pero en fenocristales es usualmente bipiramidal.
				Brucita	Hexagonal	Micáceo. Agregados plumosos. Principalmente secundario según periclasa en dolomitas metamórficas de contacto. Asociado con forsterita, espinela, serpentinita, flogopita, etc.
				Crisotilo	Monodínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$ fibroso, fino. Elongación (+). Alteración de olivino. Ligeramente verde a amarillo. Puede ser pleocroico.
				Penninita	Monodínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$ Micáceo (-). Presenta "ultra" azul carmelita, violeta. Ligeramente verde o amarillo. Puede ser pleocroico.
				Clinocloro	Monodínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Ligeramente verde o amarillo. Puede ser pleocroico.

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMAS	OBSERVACIONES			
POSITIVO BAJO	INCOLORO	(-)	BAJA	Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$ Fibroso, fino. Elongación (-). Alteración de olivino. Ligeramente verde o amarillo. Puede ser pleocroico.			
				Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$ Micáceo. Elongación (+). Presenta ultra azul carmelita, violeta, ligeramente verde o amarillo. Puede ser pleocroico.			
				Antigorita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$ Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores "ultra". Ligeramente verde o amarillo. Puede ser pleocroico.			
				Nefelina	Hexagonal	Prismático corto. Pobre clivaje prismático. En rocas ígneas alcalinas solamente. Anhedral en plutónicas. Euhedral en volcánicas. Asociado con leucita o cancrinita, y anfíbol o piroxeno alcalino.			
						MODER. a FUERTE	Escapolita	Tetragonal	Buen clivaje prismático. Prismático corto o granular. En calizas de metamorfismo de contacto o gabros alterados o en venas.
						F. REMA	Calcita	Hexagonal	Clivaje: romboédrico perfecto. "Titila" al rotar la platina. No son separables excepto mediante medidas de índices de refracción o análisis químico. Se puede asumir su composición en base a su ocurrencia.
						Dolomita			
						Magnesita			
				VERDE o AMARILLO	(+)	BAJA	Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$ Fibroso, fino. Elongación (+). Alteración de olivino. Incoloro o amarillo a verde ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.
			Penninita				Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$ Micáceo. Elongación (-). Presenta ultra azul carmelita, violeta. Incoloro o amarillo a verde ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.	

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
POSITIVO - BAJO	VERDE o AMARILLO	(+)	BAJA	Clinocloro	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Incoloro o amarillo a verde ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.
				Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$. Fibroso fino. Elongación (-). Alteración de olivino. Incoloro o amarillo a verde ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.
		(-)	BAJA	Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Presenta ultra azul carmelita, violeta. Incoloro o amarillo ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.
				Antigorita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores ultra. Incoloro o amarillo a verde ligero o profundo. Usualmente pleocroico, débil a fuerte.
MODERADA	INCOLORO	(+)		Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$. Fibroso fino. Elongación(+). Alteración de olivino. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.
				Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$ Micáceo. Elongación (-). Presenta ultra azul carmelita, violeta. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES	
MODERADO	INCOLORO	(+)	BAJA	Clinocloro	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.	
				Melilita		Tabletas basales. Clivaje: 001 bueno. Frecuentemente isotrópico en la parte central del cristal con un anillo birrefringente. Con frecuencia muestra ultra azul. En rocas ígneas básicas alcalinas. Asociado con nefelina y leucita.	
		(-)	BAJA	Melilita	Tetragonal		Tabletas basales. Clivaje: 001 bueno. Frecuentemente isotrópico en la parte central del cristal con un anillo birrefringente. Con frecuencia muestra ultra azul. En rocas ígneas básicas alcalinas. Asociado con nefelina y leucita.
				Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$. Fibroso, fino. Elongación (-). Alteración de olivino. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.	
				Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Presenta ultra azul carmelita, violeta. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.	
				Antigorita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores ultra. Usualmente verde pálido o amarillo. Puede ser levemente pleocroico.	
				Apatito	Hexagonal	Prismas cortos. Agujas largas. Elongación (-). Sin clivaje. Fractura basal fuerte. Alguna superficie rugosa. Usualmente azulado bajo nicoles cruzados.	
				Escapolita	Tetragonal	Prismático. Buen clivaje prismático. Prismas cortos o granular. En calizas metamórficas de contacto o gabros alterados.	
				Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Sin clivaje. Cristales acanalados longitudinalmente. Elongación (-). Turmalina incolora rara. Absorción total en una dirección.	
				Talco	Monoclínico	Micáceo. Incoloro o verde pálido. $2V = 0^\circ - 30^\circ$. Secundario. Principalmente en rocas básicas. (Ver minerales biáxicos).	

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRRRFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
MODERADO	INCOLORO	(-)	EXTREMA	Calcita	Hexagonal	Clivaje: rombohedral perfecto. "Titila" con la rotación de la platina. No son separables excepto midiendo los índices de refracción o por análisis químicos. Se puede asumir su composición en base a su ocurrencia.
				Magnesita		
				Dolomita		
	CON COLOR	(+)	BAJA	Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$. Fibroso, fino. Elongación (+). Alteración de olivino.
				Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$. Micáceo. Elongación (-). Presenta ultra azul, carmelita, violeta. Usualmente pleocroico: Z- verde amarillo pálido a incoloro. X, Y- verde.
				Clinocloro	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Usualmente pleocroico: Z- verde amarillo pálido a incoloro; X, Y- verde.
		(-)	BAJA	Melilita	Tetragonal	Tabletas basales. Clivaje: 001 bueno. Frecuentemente isotrópico en la parte central del cristal con un anillo birrefringente. Con frecuencia muestra ultra azul. En rocas ígneas básicas alcalinas. Asociado con nefelina y leucita. Amarillo pálido a carmelita. No pleocroico.
				Melilita		
				Crisotilo	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 50^\circ$. Fibroso, fino. Elongación (-). Alteración de olivino. Amarillo o verde. Puede ser pleocroico.
				Penninita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 10^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Presenta ultra azul carmelita, violeta. Usualmente pleocroico: X- verde amarillo pálido a incoloro; Y, Z- verde.
Antigorita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 70^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores ultra. usualmente pleocroico: X- verde amarillo pálido a incoloro; Y, Z- verde.				

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES	
MODERADO	CON COLOR	(-)	MODERADA a FUERTE	Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Sin clivaje. Cristales ondulados longitudinalmente. Color variable: rosado, rojo, verde, azul, carmelita y negro. Fuertemente pleocroico. Absorción $E < W$. Color y birrefringencia frecuentemente zonados. Elongación (-)	
				Biotita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 15^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro, amarillo, verde pálido; Y, Z- carmelita, carmelita rojizo, carmelita verdoso, verde. Absorción $X < Y, Z$.	
				Flogopita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 15^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Pleocroico: X- Incoloro, amarillo pálido Y, Z- carmelita ligeramente rojizo, absorción $X < Y, Z$.	
ALTO a MUY ALTO	INCOLORO	(-)	BAJA	Idocrasa	Tetragonal	Prismático corto o granular. Incoloro a débilmente coloreado, rosado, verde opaco o carmelita. Color y birrefringencia con frecuencia zonados. Puede mostrar colores ultra azul, carmelita o verde. En calizas metamórficas de contacto con diópsido, grosularita, wollastonita, etc.	
				Corindón	Hexagonal	Prismático corto. Sin clivaje pero con un "parting" fuerte y regular. Raro. Puede ser rosado o azul pálido. En dolomitas metamórficas de contacto, algunas sienitas y esquistos.	
		(+)	EXTREMA	Moderada a Fuerte	Turmalina	Hexagonal	Prismática corta a larga. Sin clivaje. Elongación (-). Cristales ondulados longitudinalmente. Variedades incoloras son raras.
				Moderada a Fuerte	Zircón	Tetragonal	Prismas cortos o pequeños, granos redondeados. Elongación (+). Incoloro, carmelita pálido, rosado, violeta.
				Zircón			
Xenotima	Tetragonal	Prismas cortos. Elongación (+). Incoloro, amarillizo pálido o carmelitoso. Usualmente con pleocroismo débil.					

MINERALES UNIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
ALTO a MUY ALTO	INCOLORO	(-)	EXTREMA	Calcita	Hexagonal	Clivaje: rombohédrico, perfecto. "Titila" con la rotación de la platina. No son se parables excepto utilizando índices de refracción o por análisis químicos. Se pue de asumir la composición en base a ocurrencia.
				Magnesita		
				Dolomita		
	CON COLOR	(-)	BAJA	Idocrasa	Tetragonal	Prismático corto o granular. Carmelita opaco, rosado, verde aceite. Color y birre fringencia con frecuencia zonados. Puede mostrar ultra carmelita, verde y azul. En calizas metamórficas de contacto con dióxido, grosularita o wollastonita, etc
				Corindón	Hexagonal	Prismático corto. Sin clivaje pero con "parting" basal fuerte. Rosado pálido o azu a rosado profundo o azul. Color irregularmente distribuido. Puede ser pleocroico En dolomitas metamórficas de contacto. Algunas sienitas y esquistos. Raro
			MODERADA a FUERTE	Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Sin clivaje. Elongación (-). Cristales ondulados longitu dinalmente. Color variable: rosado, rojo, verde, azul, carmelita, negro. Fuertemen te pleocroico. Absorción $E < W$.
				Biotita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 15^\circ$ Micáceo. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro, amarillo, verde pálido; Y, Z- carmelita, carmelita rojizo, carmelita verdoso, verde. Absorción $X < Y, Z$.
				Flogopita	Monoclínico	$2V = 0^\circ - 15^\circ$. Micáceo. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro, amarillo pálido Y, Z- carmelita rojizo. Absorción $X < Y, Z$.
				EXTREMA	Rutilo	Tetragonal
	Xenotima	Tetragonal	Prismas cortos o granos redondeados. Elongación (+). Amarilloso pálido o carmelitoso. Débilmente pleocroico: W- rosado o carmelita, amarillo pálido; E amarillo carmelitoso o carmelita grisáceo.			

MINERALES BIAJICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES		
NEGATIVO	INCOLORO	(+)	BAJA	70° - 80°	Albita	Triclínico. Clivaje: 001, 010. Macla albita. Puede no estar maclado como en las rocas metamórficas.		
			BAJA	0° - 16°	Sanidina	Monoclínico. Clivaje: 001, 010. $X \wedge a = 5^\circ$, Y o $Z = b$. Macla de Carlsbad. Solamente en rocas volcánicas.		
		42° - 54°		Anortoclasa	Triclínico. Clivaje: 001, 010. Muestra maclamiento con enrejados muy finos. En rocas ígneas alcalinas. Asociada con feldespatoideos, piroxenos alcalinos y anfíboles.			
		70°		Ortoclasa	Monoclínico. Clivaje: 001, 010. $X \wedge a = 5^\circ$, $Z = b$. La macla de Carlsbad carece de la macla en enrejado de la microclina.			
		(-)		83°	Microclina	Triclínico. Clivaje: 001, 010. $X \wedge a = 5^\circ$ sobre 010, $X \wedge a = 15^\circ$ en el plano óptico. Macla en malla o enrejado.		
				EXTREMA	105°	Estroncionita	Ortorrómico. Clivaje: perfecto en 010, $X = c$. Plano óptico 010. Acicular o granular.	
					16°	Witherita	Ortorrómico. Clivaje en 010 perfecto, en 110 y 012 imperfecto. $X = c$. Plano óptico 010. Maclas sobre 110.	
		18°			Aragonita	Ortorrómico. Clivaje: 110, 010, $X = c$. Plano óptico 010. Macla sobre 110. Acicular a fibroso.		
		BAJO POSITIVO		INCOLORO	(+)	BAJA	58°	Yeso
			70° - 90°				Plagioclasa	Triclínico. Clivaje: 001, 010. Macla de albita. Puede no estar maclado en rocas metamórficas.
0° - 50°	Crisotilo		Fibroso, fino. Elongación (+). Alteración de olivino					

MINERALES BIAJICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
BAJO POSITIVO	INCOLORO	(+) BAJA		0° - 10°	Penninita	Micáceo. Elongación (-). Muestra ultra azul, carmelita, violeta. Generalmente verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
				0° - 70°	Clinocloro	Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Generalmente verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
			Extrema	42°	Anhidrita	Ortorrómico. Clivaje: 001, 010 perfecto, 100 bueno. X = c. Plano óptico 010. Maclas sobre 012 y 101.
		(-) BAJA		70° - 90°	Plagioclasa	Triclinico. Clivaje: 001, 010. Macla de albita. Puede no ser maclado en rocas metamórficas.
				40° - 80°	Cordierita	Ortorrómico. Clivaje: 010. X = c, Y = a, Z = b. Macla de sector. Superficie un poco rugosa comparada con la del cuarzo. Se altera con facilidad a un material verduoso denominado pinita.
				0° - 50°	Crisotilo	Fibroso, fino. Elongación (-). Alteración de olivino. Generalmente verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
			0° - 10°	Penninita	Micáceo. Elongación (+). Muestra azul ultra, carmelita y violeta. Generalmente amarillo pálido, puede ser pleocroico.	
			0° - 70°	Antigorita	Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores ultra. Generalmente verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.	
			0° - 50°	Crisotilo	Fibroso, fino. Elongación (+). Pleocroico: X, Y- incoloro o amarillo; Z- verde pálido. Alteración de olivino.	
	CON COLOR	(+) BAJA		0° - 10°	Penninita	Micáceo. Elongación (-). Muestra azul ultra, carmelita, violeta. Pleocroico: Z- incoloro o amarillo; X, Y- verde pálido a verde profundo.
				0° - 70°	Clinocloro	Micáceo. Elongación (-). Nunca muestra colores ultra. Pleocroico: Z- incoloro, amarillo; X, Y- verde pálido o verde profundo.

MINERALES BIAJICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
BAJO POSITIVO	CON COLOR	(-)	BAJA	0° - 50°	Crisotilo	Fibroso, fino. Elongación (-). Pleocroico: Y, Z- incoloro, amarillo; X- verde pálido. Alteración de olivino.
				0° - 10°	Penninita	Micáceo. Elongación (+). Muestra azul ultra, carmelita, violeta. Pleocroico: X- incoloro, amarillo; Y, Z- verde pálido a verde profundo.
				0° - 70°	Antigorita	Micáceo. Elongación (+). Nunca muestra colores ultra. Pleocroico: X- incoloro, amarillo; Y, Z- verde pálido a verde.
MEDIO	N COLORO	(+) Moderada a Fuerte	BAJA	0° - 50°	Crisotilo	Fibroso, fino. Alteración de olivino. Elongación (+).
				0° - 10°	Penninita	Micáceo. Muestra azul ultra, violeta, carmelita. Elongación (-). Por lo general verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
				0° - 70°	Clinocloro	Micáceo. Nunca muestra colores ultra. Elongación (-). Por lo general amarillo o verde pálido. Puede ser pleocroico.
				37.5°	Barita	Ortorrómico. Clivaje: 001, 110 perfecto, 010 imperfecto. X = c. Plano óptico 010.
				51°	Celestita	Ortorrómico. Clivaje: 001, 110 perfecto, 010 bueno. X = c. Plano óptico 010.
				48° - 64°	Topacio	Ortorrómico. Prismático. Clivaje: 001 perfecto. Z = c. Plano óptico 010.
				60° - 90°	Enstatita	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110. Cerca a 90°. Z = c. Plano óptico 010. Elongación (+). En plutónicas básicas y metamórficas.
				70° - 90°	Plagioclasa	Triclínico. Clivaje: 001, 010. Macla de albita. Puede no estar maclada en rocas metamórficas.
				24°	Sillimanita	Ortorrómico. Clivaje: 010. Z = c. Plano óptico 010. Elongación (+). Prismático, fibroso, con aspecto de pelo, metamórfico. En esquistos y cornubiana.

MINERALES BIAJICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES		
MEDIO	INCOLORO	(+)	MODERADA a FUERTE	66° - 69°	Prehnita	Ortorrómico. Clivaje: 001. X = a, Y = b, Z = c. Granular prismático, radial. Alteración de plagioclasa o en venas.		
				70° - 85°	Forsterita	Ortorrómico. Clivaje: 010, 001 bueno. X = b, Y = a, Z = c. Principalmente en dolomitas metamórficas de contacto, asociado con calcita, talco, brucita, condrodita, espinela y diópsido.		
				84°	Lawsonita	Ortorrómico. Clivaje: 010, 001 perfecto, 110 imperfecto. X=a, Y=b, Z=c. Prismático corto, metamórfico asociado con glaucofano, actinolita, epidota.		
				Cerca 90°	Antofilita	Ortorrómico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124° Z=c, plano óptico 010. Elongación (+). En rocas básicas, ultrabásicas y algunos esquistos básicos.		
					EXTREMA	42°	Anhidrita	Ortorrómico. Clivaje: 001, 010 perfecto, 100 bueno. Z=c, plano óptico 010. Macas sobre 012 y 101.
		(-)	BAJA			0° - 50°	Crisotilo	Fibroso, fino. Elongación (-). Alteración de olivino.
						0° - 10°	Penninita	Micáceo. Muestra azul ultra. Carmelita violeta. Elongación (+). Generalmente presenta verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
						0° - 70°	Antigorita	Micáceo. Nunca muestra colores ultra. Elongación (+). Generalmente presenta verde o amarillo pálido, puede ser pleocroico.
						70° - 90°	Plagioclasa	Triclínico. Clivaje: 001, 010. Maca de albita, puede no estar maclado en rocas metamórficas.
						60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90° Z=c. Plano óptico 010. Elongación (+). Con frecuencia débilmente pleocroico X = rosado, Y = amarillo, Z = verde pálido. En rocas ígneas básicas y en metamórficas.
						80° - 85°	Andalucita	Ortorrómico. Clivaje: 110 cerca a 90°. X=c. Plano óptico 010. Elongación (-). Por lo general pleocroico: incoloro, verde pálido, rosado pálido. En esquistos y cornubianas.

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
MEDIO	INCOLORO	(—)	MODERADA	40°	Wollastonita	Triclínico. Clivaje: 100 perfecto, 001 bueno, 101, 102 imperfecto. $X \wedge c = 31^\circ$ Plano óptico cerca a 010. $Y \wedge b = 4^\circ$ máxima. Elongación paralela a b (+) o (—).
				75°	Tremolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^\circ$. Plano óptico 010, elongación y clivaje paralelos.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $Z=c$. Plano óptico 010. Elongación (+). Con frecuencia débilmente pleocroico. X = rosado, Y = amarillo, Z = verde pálido. En rocas ígneas básicas y en metamórficas.
				cerca 90°	Gedrita	Ortorrómico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z=c$. Plano óptico 010.
			FUERTE	0° - 30°	Talco	Micáceo. $X=c$, elongación (+). Producto de alteración de rocas ígneas básicas y ultrabásicas. En esquistos, cornubianas básicas y dolomitas metamórficas de contacto.
				47°	Moscovita	Micáceo. $X=c$, elongación (+). Generalmente asociada con cuarzo, ausente en rocas volcánicas, excepto en forma secundaria.
				47°	Sericita	Micáceo. $X=c$, elongación (+). Moscovita muy fina. En pizarras, esquistos y como producto de alteración de la plagioclasa.
				52°	Lepidolita	Micáceo. $X=c$; elongación (+), solamente en granitos con litio, aplitas, pegmatitas y "greisens". Asociada con espodumena, topacio, turmalina y fluorita.
				75° - 90°	Olivino	Ortorrómico. Clivaje: 010 bueno, 100 pobre. $Z=a$, plano óptico 001. En rocas ígneas básicas y ultrabásicas y en algunas cornubianas básicas.
			EXTREMADA	10.5°	Estroncionita	Ortorrómico. Clivaje: 010. $X=c$, plano óptico 010. Acicular o granular.
				16°	Whiterita	Ortorrómico. Clivaje: 010 bueno, 110 y 012 imperfecto. $X=c$, plano óptico 010. Macra sobre 110.
				18°	Aragonita	Ortorrómico. Clivaje: 110, 010. $X=c$, plano óptico 010. Acicular a fibrosa. Macra sobre 110.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
MEDIO	AMARILLO	(+)	Moderada	Cerca 90°	Pargasita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15$ a 25°, plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo verdoso, Y- verde, Z- verde azuloso.
			Moderada	75°	Actinolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15$ °. Plano óptico 010. Birrefringencia 0.028. Pleocroico: X- incoloro, amarillo pálido, Y- verde amarilloso, Z- verde y verde azuloso.
		(-)	Moderada	70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 25$ °. Plano óptico: 010. Birrefringencia 0.010. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, verde amarillo; Y- verde amarillo, verde azuloso, verde oliva; A- verde azuloso, verde oscuro, verde oliva.
			Fuerte	0° - 15°	Flogopita	Micáceo. X=c. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro o amarillo pálido Y, Z- carmelita rojizo pálido.
			Fuerte	0° - 15°	Biotita	Micáceo. X=c. Elongación (+). Pleocroico: X- amarillo, verde amarillo. Y, Z- carmelita, rojo carmelita, carmelita verdoso.
			Baja	0° - 50°	Crisotilo	Serpentina fibrosa. Fina. Elongación (+). Alteración de olivino.
	VERDE	(+)	Baja	0° - 10°	Penninita	Micáceo. Muestra azul ultra. violeta carmelita. Elongación (-). Pleocroismo débil. Z- amarillo pálido; X, Y- verde.
			Baja	0° - 70°	Clinocloro	Micáceo. Nunca muestra colores ultra. Elongación (-). Pleocroismo débil. Z- amarillo pálido; X Y- verde.
			Moderada	Cerca 90°	Pargasita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15$ a 25°. Plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo verdoso, Y- verde, Z- verde azuloso.
		(-)	Baja	0° - 50°	Crisotilo	Serpentina fibrosa. Fina. Elongación (-). Alteración olivino.
			Baja	0° - 10°	Penninita	Micáceo. Muestra azul ultra, violeta, carmelita. Elongación (+). Generalmente pleocroico: X- verde amarillo pálido; Y, Z- verde.
			Baja	0° - 70°	Antigorita	Micáceo. Nunca muestra colores ultra. Elongación (+). Generalmente pleocroico: X- verde amarillo pálido; Y, Z- verde.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES			
MEDIO	VERDE	(--)	BAJA	60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 a 90° Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rojizo; Y- amarillo, carmelita rojizo; Z-verde. En rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.			
				80° - 85°	Andalucita	Ortorrómico. Clivaje: 110 cerca a 90°. X = c. Plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y, Z- incoloro, amarillo verde. En esquistos y cornubianas.			
			MODERADA	75°	Actinolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 15 a 25° Plano óptico 010. Birrefringencia 0.028. Pleocroico: X- incoloro, amarillo pálido; Y- verde amarillo, Z- verde y verde azulado.			
				70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124° Z \wedge c = 15 a 25°. Plano óptico 010. Birrefringencia 0.020. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, verde amarillo; Y- verde amarillo; Z- verde azulado. verde oscuro, verde oliva.			
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rojizo, Y- amarillo, carmelita, rojizo; Z- verde. En rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.			
			FUERTE	Pequeño	Bowlingita	Micáceo. Agregados finos. Elongación (+). Pleocroico: amarillo, verde, carmelita, rojo. Alteración de olivino.			
				0° - 30°	Talco	Micáceo. X = c. Elongación (+). Verde pálido. Puede ser pleocroico, por lo general secundario en rocas ígneas básicas y ultrabásicas. También en esquistos, cornubianas básicas y dolomitas alteradas de contacto.			
				0° - 15°	Biotita	Micáceo. X = c. Elongación (+). Pleocroico: X- amarillo, verde amarillo, Y, Z- verde carmelitoso, verde profundo. (Biotita verde no es común).			
			CARMELITA		(+)	BAJA	60° - 90°	Enstatita	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010, elongación (+). Carmelita muy pálido. En plutónicas básicas y cornubianas básicas.
						MODERADA	Cerca 90°	Antofilita	Ortorrómico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Carmelita muy claro. En rocas ígneas básicas y ultrabásicas y en algunos esquistos.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIFERRO	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
MEDIO	CARMELITITA	(-)	BAJA	60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico X- rosado, Z- carmelitoso, Y- verde carmelitoso pálido. En rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.
			MODERADA	70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 15 a 25°. Plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo; Y- verde carmelitoso; Z- verde oliva a carmelita.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rosado; Y, Z- carmelitoso, verde carmelitoso pálido. En rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.
				Cerca 90°	Gedrita	Ortorrómico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z = c. Plano óptico: 010.
			FUERTE	Pequeño	Bowlingita	Micáceo. Agregados finos. Elongación (+). Pleocroico: amarillo, verde, carmelita, rojo. Alteración de olivino.
				0° - 15°	Flogopita	Micáceo. X = c. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro o amarillo pálido; Y, Z- carmelita, rojo claro.
		0° - 15°	Biotita	Micáceo X = c Elongación (+) Pleocroico X- amarillo, Y, Z- carmelita rojo, carmelita verdoso, carmelita negruzco.		
	ROSADO	(-)	BAJA	60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico X- rosado, rojo, Y- amarillo, carmelitoso, Z- verde pálido, verde. En rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.
				80° - 85°	Andalucita	Ortorrómico. Clivaje: 110 cerca a 90°. X = c, plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y, Z- incoloro, amarillo, verde. En esquistos y cornubianas.
			MODERADA	60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y- amarillo, carmelita, Z- verde pálido, verde. En rocas ígneas básicas, cornubianitas básicas y granulitas.
AZUL		(+)	BAJA	Pequeño	Crosita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. X = b, plano óptico perpendicular a 010. Y \wedge c = 3°. Pleocroico: X- amarillo; Y- violeta, Z- azul.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES		
MEDIO	AZUL	(-)	Moderada	45°	Glaucofano	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje; 110 a 124°. Y = b, plano óptico 010. Z \wedge c = 4° 20'. Pleocroico: X- amarillo; Y- violeta; Z- azul.		
ALTO	INCOLORO	(+) BAJA	Moderada	0° - 30°	Zoisita	Ortorrómico. Prismático. Clivaje: 010. X = c, plano óptico 010. Elongación (-). No presenta color ultra azul.		
				0° - 60°	Zoisita	Ortorrómico. Prismático. Clivaje: 010. Y = c, plano óptico 001. Elongación (+). y (-). Presenta color ultra azul.		
				36° - 60°	Cloritoide	Monoclínico. Prismático. Haz de escamas. Clivaje: 110 imperfecto. Z = c, plano óptico 010. Generalmente pleocroico; X- verde; Y- azul; Z- amarillo pálido o verde. Color y birrefringencia zonada. Ocurre solamente en pizarras y esquistos.		
				48° - 64°	Topacio	Ortorrómico. Prismático. Clivaje: 001 perfecto. Z = c, plano óptico 010.		
				60° - 90°	Enstatita	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje; 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). En rocas plutónicas básicas y metamórficas.		
		(+) MODERADA a FUERTE	Moderada	Moderada	Moderada	Cerca 90°	Clinozoisita	Monoclínico. De la familia de la epidota. Clivaje: 001 perfecto, 100 imperfecto. Y = b, plano óptico 010. X \wedge c = 2°, Z \wedge a = 24°. Elongación paralela a b, (+) y (-).
						24°	Sillimanita	Ortorrómico. Prismático, fibroso, en forma de cabellos. Clivaje: 010. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). En esquistos y cornubianitas.
						0° - 50°	Pigeonita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z \wedge c = 40°-50°, plano óptico paralelo o perpendicular a 010.
						60°	Diópsido	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z \wedge c = 36°-40°, plano óptico 010. Dispersión débilmente inclinada.
						60°	Augita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z \wedge c = 38°-54°. Plano óptico 010. Dispersión fuertemente inclinada. Color pardusco comparado con el diópsido.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
ALTO	INCOLORO	(+) MODERADA o FUERTE	60°	Diálaga	Monoclínico. Piroxeno. Variedad de augita con clivaje 010. Verde pálido o carmelita. Se presenta en gabros, piroxenitas y peridotitas.	
			70° - 85°	Forsterita	Ortorrómbico. Clivaje: 010, 001 distintivo. X = b, Y = a, Z = c. Principalmente en dolomitas con metamorfismo de contacto. Asociada con calcita, talco, brucita, diópsido, condrodita.	
			Cerca 90°	Antofilita	Ortorrómbico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124° Z = c, plano óptico: 010. Elongación (+). En rocas ígneas básicas y ultrabásicas y algunos esquistos.	
		(--)	BAJA	75°	Axinita	Triclínico. Cristales en forma de cuña. Clivaje: 010, 001. Dispersión fuerte. Extinción incompleta. Puede ser carmelita pálido.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómbico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Puede ser débilmente pleocroico. En rocas ígneas básicas, cornubianitas básicas y granulitas.
				80° - 85°	Andalucita	Ortorrómbico. Clivaje: 110 cerca a 90°. X = c, plano óptico 010. Elongación (-). Generalmente pleocroico. X- incoloro o rosado pálido; Y, Z- incoloro o verde pálido. En esquistos y cornubianitas.
			MODERADA - FUERTE	75°	Tremolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 15°, plano óptico 010.
				82°	Kianita	Triclínico. En hojas largas. A menudo pleocroico: X- incoloro, Y, Z- azul pálido. Color moteado. Únicamente metamórfico.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómbico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Puede ser débilmente pleocroico. En rocas ígneas básicas, cornubianitas básicas y granulitas.
				75° - 90°	Olivino	Ortorrómbico. Clivaje: 010 distintivo, 100 pobre. Z = a, plano óptico 001. En rocas ígneas básicas y ultrabásicas y algunas cornubianitas.
			Cerca 90°	Gedrita	Ortorrómbico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z = c, plano óptico 010. Puede ser de color carmelita pálido.	

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERALES	OBSERVACIONES
ALTO	INCOLORO	(-)	MODERADA a FUERTE	Cerca 90°	Epidota	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, 100 bueno. Y = b, plano óptico 010. $X \wedge c = 5^\circ$, $Z \wedge a = 30^\circ$. Cristales elongados paralelos a b. A menudo verde pálido, débilmente pleocroico: X- incoloro, Y, Z- amarillo pálido - verde.
	AMARILLO	(+)		65° - 75°	Aegirina - augita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $Z \wedge c = 55^\circ - 80^\circ$, plano óptico 010. Pleocroico: X- verde claro, verde pasto, Y- amarillo - verde, verde; Z- amarillo-verde, verde pardusco. Ocurre en rocas ígneas alcalinas, con nefelina, etc.
				70° - 90°	Condrodita	Monoclínico. Clivaje: 001 pobre. Z = b, $X \wedge 001 = 22^\circ - 30^\circ$. Pleocroico: X- amarillento; Y, Z- incoloro. En dolomitas con metamorfismo de contacto asociadas con calcita, talco, forsterita, espinela.
				80° - 90°	Estauroлита	Ortorrómico. Prismático, macladas con respecto a X. Clivaje: 010, Z = c, plano óptico 100. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro; Y- amarillo; Z- amarillo - carmelita. Ocurre solamente en esquistos.
				Cerca 90°	Pargasita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^\circ - 25^\circ$, plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo verdoso; Y- verde; Z- verde azulado.
			Pequeño	Bowlingita	Micáceo. En agregados plumosos finos. Pleocroico: amarillo, verde carmelita. Elongación (+). Alteración de olivino.	
	MODERADA a FUERTE	(-)	0° - 15°	Biotita	Micáceo. X = c, pleocroico: X- amarillo; Y, Z- carmelita, pardo rojizo, pardo verdoso, verde. Elongación (+).	
			55° - 80°	Piedmontita	Micáceo. Clivaje: 001 perfecto. Y = b, plano óptico 010. $X \wedge c = 7^\circ$, $Z \wedge a = 32^\circ$. Pleocroico: X- amarillo brillante, Y- violeta, Z- rojo brillante. En esquistos, granu-litas, cornubianitas.	
			75°	Actinolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^\circ$. Plano óptico 010. Birrefringencia = 0,028. Pleocroico: X- incoloro, amarillo pálido; Y- amarillo-verde; Z- verde, azul-verde.	

MINERALES BIAJICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES	
ALTO	AMARILLO	(-)	MODERADA a FUERTE	70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124° $Z \wedge c = 15-25^\circ$, plano óptico 010. Birrefringencia = 0.020. Pleocroico; X- incoloro, amarillo, amarillo-verde; Y- amarillo-verde; Z- verde azulado, verde oscuro, verde oliva.	
				± 80°	Epidota	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, 100 bueno. Y = b, plano óptico 010. $X \wedge c = 5^\circ$, $Z \wedge a = 30^\circ$. Cristales elongados paralelos a b. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, amarillo-verde; Y- amarillo verdoso; Z- incoloro, amarillo-verde.	
	VERDE	(+)	MODERADA a FUERTE	BAJA	35° - 60°	Cloritoide	Monoclínico. Prismático, haz de escamas. Clivaje: 110 imperfecto. Z- cercano a c, plano óptico 010. Pleocroico: X- verde; Y- azul; Z- amarillo pálido o verde pálido. Ligeramente coloreado. Color y birrefringencia zonada. Ocurre solamente como porfiroblastos en pizarras y esquistos.
				80°	Hedenbergita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90° $Z \wedge c = 46^\circ-48^\circ$, plano óptico 010. Pleocroico: X- incoloro, verde claro; Y, Z- verde profundo. En cornubianitas, generalmente con andradita.	
				65° - 75°	Aegirina - augita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $Z \wedge c = 55^\circ-80^\circ$, plano óptico 010. Pleocroico: X- verde claro, verde pasto; Y- amarillo-verde, verde; Z- amarillo-verde, verde pardusco. Ocurre en rocas ígneas alcalinas, con nefelina, etc.	
				Cerca 90°	Pargasita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^\circ-25^\circ$. Plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo verdoso; Y- verde y Z- verde azulado.	
		(-)	BAJA	80° - 85°	Andalucita	Ortorrómico. Clivaje: 110 a 90°. X = c, plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y, Z- ligeramente verde, verde. En esquistos y cornubianitas.	
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rojizo; Y- amarillo; Z- verde. Rocas ígneas básicas, cornubianitas básicas y granulitas.	
	MODERADA a FUERTE		Pequeño	Bowlingita	Micáceo. Agregados plumosos. Amarillo, verde, carmelita. Elongación (+). Alteración de olivino.		
	0° - 15°	Biotita	Micáceo. X = c, elongación (+). Pleocroico: X- amarillo, amarillo verdoso; Y, Z- verde pardo, verde oscuro. La biotita verde es rara.				

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
ALTO	VERDE	(-)	MODERADA a FUERTE	50° - 70°	Aegirina	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $X \wedge c = 2^{\circ} - 5^{\circ}$, plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: X- verde; Y- amarillo verdoso, verde oscuro; Z- verde pardo, amarillo pardo.
				75°	Actinolita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^{\circ}$, plano óptico 010. Birrefringencia = 0.028. Pleocroico: X- incoloro, amarillo pálido; Y- amarillo-verde; Z- verde, verde azulado.
				70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 15^{\circ} - 25^{\circ}$, plano óptico 010. Birrefringencia = 0.020. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, amarillo verde; Y- amarillo verde; Z- verde azulado, verde oscuro, verde oliva.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $Z = c$, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rojizo; Y- amarillo; Z- verde en rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.
				Cerca 90°	Epidota	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, 100 bueno. $Y = b$, plano óptico 010. $X \wedge c = 5^{\circ}$, $Z \wedge a = 30^{\circ}$. Cristales elongados paralelos a b. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, amarillo verdoso; Y- verde amarillento; Z- incoloro, amarillo verdoso, verde.
	CARMELITITA	(+) MODERADA a FUERTE	Variable	Iddingsita	Micáceo. Rojo - pardo oscuro, débilmente pleocroico. Alteración de olivino.	
			0° - 50°	Pigeonita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $Z \wedge c = 40^{\circ} - 50^{\circ}$, plano óptico paralelo o perpendicular a 010. Carmelita pálido a incoloro. No es pleocroico.	
			60°	Augita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°, $Z \wedge c = 38^{\circ} - 54^{\circ}$, plano óptico 010. Pardo e incoloro. No es pleocroico.	
			70° - 90°	Condrodita	Monoclínico. Clivaje: 001 pobre. $Z = b$, $X \wedge 001 = 22^{\circ} - 30^{\circ}$. Pleocroico: X, Y- carmelita rojizo; Z- carmelita pálido. En dolomitas de metamorfismo de contacto, con talco, brucita, forsterita, espinela, serpentina, flogopita.	
			80° - 90°	Estaurolita	Ortorrómico. Prismático. Clivaje: 010. $Z = c$, plano óptico 100. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro, Y- amarillo, Z- amarillo pardo. Maclas en $\frac{1}{2}$. En esquistos únicamente.	

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
ALTO	CARMELITA	(-)	MODERADA a FUERTE	Variable	Iddingsita	Micáceo. Rojo pardo oscuro. Débilmente pleocroico. Alteración de olivino.
				0° - 15°	Biotita	Micáceo. X = c. Elongación (+). Pleocroico: X- tenuemente amarillo; Y, Z- pardo rojizo, carmelita, pardo verdoso.
				30° - 54°	Barkevikita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 10°-14°, plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo, amarillo pardo; Y- pardo rojizo; Z- pardo oscuro, pardo negruzco. Color zonado. En rocas ígneas alcalinas.
				50° - 70°	Acmita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. X \wedge c = 2°-5°, plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: variable, amarillo, pardo oscuro y pardo verdoso. En rocas ígneas alcalinas.
			70° - 85°	Hornblenda	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 15°-25°, plano óptico 010. Birrefringencia = 0.020. Pleocroico: X- amarillo, amarillo verdoso; Y- verde oliva, pardo verdusco; Z- pardo verdusco, pardo oscuro.	
			70° - 85°	Hornblenda basáltica	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. Z \wedge c = 3°-8°, plano óptico 010. Birrefringencia = 0.072. Pleocroico: X- amarillo; Y, Z- rojo - pardo oscuro. Solamente en rocas volcánicas.	
			Moderada a Fuerte	Largo	Allanita	Monoclínico. Familia de la epidota. Pleocroico: amarillo pardo, rojo-pardo oscuro, pardo oscuro. Fuerte color zonado. Accesorio en rocas graníticas y neises.
		ROJO-ROSADO-VIOLETA	(+) Moderada	60°	Titano - augita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z \wedge c = 38°-54°, plano óptico 010. Pleocroico: X- amarillo verdoso, rojizo; Y- rojo, violeta; Z- amarillo verdoso, rojo, violeta. Birrefringencia y color zonado.
	60° - 90°			Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rojo, rosado; Y- amarillo pardusco; Z- verde en rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.	
	(-) BAJA		80° - 85°	Andalucita	Ortorrómico. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y, Z- débilmente verde, verde. En esquistos y cornubianas.	

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
ALTO	ROJO ROSADO VIOLETA	(-)	MODERADA	55° - 80°	Piedmontita	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, Y = b, plano óptico 010. $X \wedge c = 7^\circ$, $Z \wedge a = 32^\circ$. Pleocroico: X- amarillo; Y- violeta; Z- rojo claro en esquistos.
				60° - 90°	Hipersteno	Ortorrómico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. Z = c, plano óptico 010. Elongación (+). Pleocroico: X- rosado, rojo; Y- amarillo, pardo; Z- verde. Rocas ígneas básicas, cornubianas básicas y granulitas.
	AZUL	(+)	BAJA	36° - 60°	Cloritoide	Monoclínico. Prismático en forma de haz. Clivaje: 110 imperfecto. Z cerca a c, plano óptico 010. Pleocroico: X- verde; Y- azul; Z- amarillo oscuro y verde. Débilmente coloreado. Color y birrefringencia zonada. Solamente en porfiroblastos, en esquistos y pizarras.
				Variable	Riebeckita	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. X o Z = b. Pleocroico: largo-azul; b- violeta; cerca a a- amarillo. Dispersión extremadamente inclinada.
				45°	Glaucofano	Monoclínico. Anfíbol. Clivaje: 110 a 124°. $Z \wedge c = 4^\circ - 20^\circ$, plano óptico: 010. Pleocroico: X- amarillo; Y- violeta; Z- azul.
				82°	Kianita	Triclínico. Hojoso. Pleocroico: X- incoloro; Y, Z- azul.
MUY ALTO	NCOLORO	(-)	BAJA	75°	Axinita	Triclínico. Cristales en forma de cuña. Clivaje: 001, 010. Usualmente de color pardo oscuro. Fuerte dispersión. Extinción incompleta. En calizas alteradas de contacto.
				6° - 19°	Monazita	Monoclínico. Clivaje: 001, perfecto, 100 distintivo. X = b, plano óptico perpendicular 010. $Z \wedge c = 4^\circ$. Birrefringencia 0,045 - 0,055. Puede ser débilmente pleocroico.
				23° - 34°	Esfena	Monoclínico. Cristales en forma de cuña. Clivaje: 110. $X \wedge c = 39^\circ$, plano óptico 010. Birrefringencia 0,082 - 0,135. Dispersión fuertemente inclinada, color de oro.
				Variable	Brookita	Ortorrómico. Pleocroico: variable, amarillo, anaranjado, café. Muestra un plano axial de dispersión cruzada.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIPREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
MUY ALTO	AMARILLO	(+)	MODERADA a FUERTE	80° - 90°	Estaurolita	Ortorrómico. Prismático. X- macla en +. Clivaje: 010. Z = c. Plano óptico 100. Elongación (+). Pleocroico. X- incoloro, Y- amarillo, Z- amarillo pardo. Únicamente en esquistos.
			EXTREMA	6° - 19°	Monazita	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, 100 distintivo. X = b, plano óptico perpendicular a 010. ZΛc = 4°. Puede ser débilmente pleocroico. X- amarillo débil; Y- amarillo oscuro, Z- amarillo verdoso. Absorción: YΛX = Z.
		(-)	MODERADA a FUERTE	55° - 80°	Piedmontita	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto. Y = b, plano óptico: 010, XΛa = 7°; ZΛc = 32°. Pleocroico; X- amarillo intenso; Y- violeta; Z- rojo intenso, en esquistos, granulitas, cornubianas.
			EXTREMA	Cerca 90°	Epidota	Monoclínico. Clivaje: 001, perfecto, 100 bueno. Y = b, plano óptico: 010; XΛc = 5°; ZΛa = 30°. Elongación de los cristales paralelo a b. Pleocroico: X- incoloro, amarillo, amarillo verdoso; Y- amarillo verdoso; Z- incoloro, verde amarillento, verde.
	VERDE	(-)	MODERADA a FUERTE	50° - 70°	Aegirina	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca de 90°. XΛc = 2°-5°. Elongación (-). Pleocroico: X- verde; Y- amarillo-verde; verde oscuro; Z- verde pardusco, amarillo pardusco.
				Cerca 90°	Epidota	Monoclínico. Clivaje: 001, perfecto, 100 bueno. Y = b, plano óptico 010. XΛc = 5°; ZΛa = 30°. Elongación de los cristales paralelo a b. Pleocroico: X- incoloro amarillo, amarillo-verde; Y- amarillo verdoso; Z- incoloro, amarillo-verde, verde.
	CARMELITA	(+)	MODERADA a FUERTE	Variable	Brookita	Ortorrómico. Pleocroico: variable, amarillo, anaranjado, pardo. Muestra un plano axial de dispersión cruzada.
				80° - 90°	Estaurolita	Ortorrómico. Prismático. Maclado en x. Clivaje: 010. Z = c, plano óptico 100. Elongación (+). Pleocroico: X- incoloro; Y- amarillo; Z- amarillo pardo, únicamente en esquistos.

MINERALES BIAXICOS

RELIEVE	COLOR	SIGNO	BIRREFR.	2V	MINERAL	OBSERVACIONES
MUY A TO	CARMELITA	(+)	EXTREMA	6° - 19°	Monazita	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto, 100 distintivo. X = b, plano óptico perpendicular a 010. $Z \wedge c = 4^\circ$. Puede ser débilmente pleocroico: Y- débilmente amarillo; Z, X- ligeramente pardo, pardo rojizo. Birrefringencia 0,045 - 0,035.
				25° - 34°	Esfena	Monoclínico. Cristales en forma de cuña. Clivaje: 110 distintivo. $Z \wedge c = 39^\circ$, plano óptico 010. Birrefringencia 0,062 - 0,135. Usualmente pleocroico. X, Y- amarillo pardusco, Z- amarillo, pardusco. Dispersión fuertemente inclinada. Color dorado.
		(-)	MODERADA ■ FUERTE	50° - 70°	Acmita	Monoclínico. Piroxeno. Clivaje: 110 cerca a 90°. $X \wedge c = 2^\circ - 5^\circ$. Plano óptico 010. Elongación (-). Pleocroico: variable, amarillo, débilmente pardo, pardo verdoso.
				Largo	Allanita	Monoclínico. Familia de las epidotas. Pleocroico: amarillo pardo, ligeramente marrón, marrón oscuro, color y birrefringencia zonados, accesorios en rocas graníticas y neises.
	ROSADO ROJO	(-)	MODERADA ■ FUERTE	55° - 80°	Piedmontita	Monoclínico. Clivaje: 001 perfecto. Y = b, plano óptico. $X \wedge c = 7^\circ$, $Z \wedge a = 32^\circ$. Pleocroico: X- amarillo brillante; Y- violeta; Z- rojo brillante. En esquistos, granulitas y cornubianitas.
				(+)	EXTREMA	6° - 19°
25° - 34°	Esfena	Monoclínico. Cristales en forma de cuña. Clivaje: 110 distintivo. $X \wedge c = 39^\circ$, plano óptico 010. Birrefringencia: 0,062 - 0,135. Dispersión fuertemente inclinada. Color dorado. Puede ser pleocroico: X- amarillento; Y, Z- rosado.				

MINERALES BIRREFRINGENTES QUE DAN FIGURAS INDETERMINADAS

RELIEVE	COLOR	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMAS	OBSERVACIONES
NEGATIVO	INCOLO O	MUY BAJA	Leucita	Isométrico	Trapezoedral. Maclamiento laminar complejo. A menudo con inclusiones orientadas. En rocas ígneas alcalinas (volcánicas únicamente) con nefelina, anfíboles y piroxenos alcalinos.
			Tridimita	Ortorrómbico ?	Seudo hexagonal. Maclas en forma de cuña. Se encuentra en cavidades, fracturas y matrices de rocas ígneas intermedias a ácidas.
			Cristobalita	?	En agregados redondeados muy delgados. Muy baja birrefringencia. Ocurre en cavidades y fracturas en rocas volcánicas.
		BAJA	Nefelina	Hexagonal	Prismático corto, secciones prismáticas cuadradas o rectangulares. Elongación (—). Secciones basales hexagonales. Se encuentra en rocas ígneas alcalinas con leucita, anfíboles y piroxenos alcalinos.
		AZUL o VERDE	MUY BAJA	Lazurita	Isométrico
BAJO · POSITIVO	INCOLORO	BAJA	Brucita	Hexagonal	Uniaxial (+). Micáceo. Elongación (—). Se halla con agregados plumosos y pseudomorfos de periclasa (octaédrica). En dolomitas con metamorfismo de contacto asociadas con talco, serpentina, forsterita, condrodita, espinela.
			Crisotilo	Monoclínico	Fibroso, muy fino. Signo y elongación (+) o (—). Producto de alteración de olivino. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Antigorita	Monoclínico	Micáceo, en agregados plumosos. Signo (—). Elongación (+). Nunca presenta colores ultra. Generalmente amarillo o verde pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Penninita	Monoclínico	Micáceo, en agregados plumosos. Signo y elongación (+) o (—). Presenta colores azul, pardo y violeta ultra. Mineral a menudo secundario originario a partir de biotita, hornblenda, granate. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.

MINERALES BIRREFRINGENTES QUE DAN FIGURAS INDETERMINADAS

RELIEVE	COLOR	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
BAJO POSITIVO	INCOLORO	BAJA	Clinocloro	Monoclínico	Micáceo. Signo (+). Elongación (-). Nunca presenta colores ultra. Se encuentra principalmente en esquistos o en venas. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
	VERDE o AMARILLO	BAJA	Crisotilo	Monoclínico	Fibroso, muy fino. Signo y elongación (+) o (-). Débilmente pleocroico: amarillo, verde. Producto de alteración del olivino.
			Antigorita	Monoclínico	Micáceo, en agregados escamosos. Signo (-). Elongación (+). Nunca presenta colores ultra. Pleocroico: amarillo, verde.
			Penninita	Monoclínico	Micáceo, agregados escamosos. Signo y elongación (+) o (-). Presenta colores azul pardo y violeta ultra. Pleocroico: incoloro, amarillo o verde claro a profundo. A menudo de origen secundario a partir de biotita, hornblenda y granate.
			Clinocloro	Monoclínico	Micáceo. Signo (+). Elongación (-). Nunca presenta colores ultra. Pleocroico: Z-amarillo o verde pálido; X, Y- verde oscuro. Se encuentra principalmente en esquistos o venas.
MODERADO	INCOLORO	BAJA	Crisotilo	Monoclínico	Fibroso muy fino. Signo o elongación (+) o (-). Producto de alteración del olivino. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Antigorita	Monoclínico	Micáceo. En agregados escamosos. Signo (-). Elongación (+). Nunca presenta colores ultra. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Penninita	Monoclínico	Micáceo. Agregados escamosos. Signo y elongación (+) o (-). Presenta azul, carmelita y violeta ultra. A menudo de origen secundario originado a partir de biotita, hornblenda, granate. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Clinocloro	Monoclínico	Micáceo. Signo (+). Elongación (-). Nunca presenta colores ultra. Se encuentra principalmente en esquistos o en venas. Generalmente amarillo o verde muy pálido. Puede ser débilmente pleocroico.
			Apatito	Hexagonal	Birrefringencia muy baja, granos a menudo pequeños. No presenta clivaje, fuerte fractura. Sección hexagonal. Color azulado. Elongación (-). Superficie rugosa.

RELIEVE	COLOR	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
ALTO MUY ALTO	INCOLORO	MODERADO a FUERTE	Sillimanita	Ortorrómico	Acicular, fibroso a manera de cabellos. Elongación (+). Fractura cruzada fuerte. A menudo estrechamente asociado con biotita. Se encuentra en esquistos, cornubianas y neises.
			Sillimanita	Ortorrómico	Acicular, fibroso o en masas de cabellos. Fuerte fractura cruzada. Elongación (+). A menudo estrechamente asociada con biotita. Se encuentra en esquistos, cornubianas y neises.
	INCOLORO	MODERADO a FUERTE	Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Signo y elongación (-). Generalmente pleocroico. Absorción $E < W$.
			Turmalina		
		EXTR	Zircón	Tetragonal	Prismas generalmente cortos. No presenta clivaje. Elongación (+). Birrefringencia: 0,045 - 0,058. Generalmente no pleocroico. A menudo muy incoloro. Nunca se encuentra alterado.
			Xenotima	Tetragonal	Prismas cortos. Clivaje: 110. Elongación (+). Birrefringencia: 0,0948. Generalmente amarillo o rosado muy pálido. Puede encontrarse alterada.
			Monazita	Monoclínico	Cristales tabulares o elongados paralelos a b, cuando la elongación es (+) y (-). Plano óptico 010. Birrefringencia: 0,045 - 0,055. Clivaje: 001 perfecto, 100 distintivo. Generalmente amarillento comparado con el zircón.
			Bowlingita	?	Micáceo. En agregados escamosos finos. Signo (-). Elongación (+). Pleocroico. Amarillo, verde, pardo rojizo. Producto de alteración del olivino.
	AMARILLO	EXTR	Monazita	Monoclínico	Cristales tabulares o elongados paralelos a b, cuando la elongación es (+) y (-). Plano óptico 010. Birrefringencia: 0,045 - 0,055. Clivaje: 001 perfecto, 100 distintivo. Color pálido. Pleocroico; amarillo, pardo rojizo, rojo. Absorción $X > Y = Z$.
			Xenotima	Tetragonal	Prismas cortos. Clivaje: 110. Elongación (+). Birrefringencia: 0,0948. Color pálido. Pleocroico: W- rosado, pardo amarillo claro; E- amarillo pardusco, pardo grisáceo. Puede presentarse alterada.

MINERALES BIRREFRINGENTES QUE DAN FIGURAS INDETERMINADAS

RELIEVE	COLOR	BIRREFR.	MINERAL	SISTEMA	OBSERVACIONES
ALTO Y MUY ALTO	AMARILLO	EXT.	Rutilo	Tetragonal	En prismas cortos y agujas, a menudo maclados. No presenta clivaje. Elongación (+). Birrefringencia: 0,29. Color amarillo claro a amarillo pardusco. Con luz reflejada blanco, gris, grisáceo y brillo submetálico. Puede ser pleocroico.
	CARMELITA	MODERADA	Allanita	Monoclínico	Carmelita oscuro o negro pardusco. Pleocroico: X- incoloro, amarillo; Y, Z- carmelita verdoso, rojo-carmelita. Color y birrefringencia a menudo zonados.
			Turmalina Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Signo y elongación (-). Fuertemente pleocroico. Absorción $E < W$.
		FUERTE	Biotita	Monoclínico	Signo (-). Elongación (+). Pleocroico: X- amarillo, Y, Z- rojo pardo, pardo oscuro, pardo verdoso.
			Allanita	Monoclínico	Pardo oscuro, negro pardusco, pleocroico: X- incoloro, amarillo; Y, Z- pardo verdoso, rojo - pardo. Color y birrefringencia frecuentemente zonados.
			Bowlingita	?	Micáceo, en agregados escamosos finos. Signo (-). Elongación (+). Pleocroico: amarillo, verde, rojo pardo. Producto de alteración de olivino.
			Iddingsita	?	Micáceo. Signo (+) y (-). Rojo - pardo oscuro. Débilmente pleocroico. Producto de alteración de olivino.
		EXTR.	Monazita	Monoclínico	Cristales tabulares o elongados paralelos a b, cuando la elongación es (+) y (-). Plano óptico 010. Birrefringencia 0,045 - 0,055. Clivaje: 001 perfecto, 100 distintivo. Color pálido. Pleocroico: amarillo, pardo rojizo, rojo. Absorción $X > Y = Z$.
			Xenotima	Tetragonal	Prismas cortos. Clivaje 110. Elongación (+). Birrefringencia: 0,0948. Color pálido. Pleocroico: W- rosado, pardo amarillento débil; E- amarillo pardusco, pardo grisáceo. Puede presentarse alterado.
	Rutilo		Tetragonal	En prismas cortos y agujas, aunque frecuentemente maclados. No presenta clivaje. Elongación (+). Birrefringencia 0,29. Color amarillo pardusco, pardo oscuro, pardo rojizo, rojo, negro, negro claro. Con luz reflejada blanco y brillo submetálico. Puede presentar pleocroismo.	
	AZUL	BAJA	Riebeckita	Monoclínico	Anfíbol. Clivaje 110 a 124°. Pleocroico: azul; b- violeta; a- amarillo, Presenta fuerte dispersión inclinada.
		MODERADA	Turmalina	Hexagonal	Prismático corto a largo. Signo y elongación (-). Fuertemente pleocroico. Absorción $E < W$.
	VIOLETA	BAJA	Riebeckita	Monoclínico	Anfíbol. Clivaje 110 a 124°. Pleocroico. Elongación azul: b- violeta; a- amarillo. Fuerte dispersión inclinada.