



---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA. FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CS. APLICADAS.

LICENCIATURA EN GEOLOGÍA.

CÁTEDRA DE MINERALOGÍA I.  
MORFOLOGIA CRISTALOGRAFICA Y OPTICA MINERAL

---

**CUADERNO GUÍA**  
**PROCEDIMIENTOS DE EJERCITACION PRÁCTICA**

---



Lic. Mgtr. Ana Ingrid Ovejero

Lic. Sofia Sosa Medina

2018



---

## INTRODUCCIÓN

El cuaderno guía es un resumen que reúne procedimientos prácticos para el estudio morfológico y de la óptica mineral, con el objetivo de facilitar el aprendizaje de la Mineralogía, a los alumnos cursantes del segundo año de la carrera de la Licenciatura en Geología.

Los contenidos temáticos en general siguen una metodología descriptiva de las formas externas de los cristales, las leyes geométricas, la representación de la simetría cristalina en un dibujo plano-tridimensional y los métodos de reconocimiento e identificación de constituyentes minerales formadores de rocas y yacimientos.

Para la aplicación de los procedimientos prácticos el alumno utiliza la construcción manual de modelos cristalinos idealizados, para la ejercitación y resolución de problemas geométricos de interpretación plano-tridimensional representaciones espaciales, medidas, comprobaciones de las distintas leyes y su correlación con el medio óptico mineral analizado en microscopios.

El estudio morfológico geométrico, es muy importante su entendimiento correlaciona las leyes fundamentales aplicadas con las propiedades que serán observadas en el medio óptico isótropo y anisótropo.

La experiencia metodológica aplicada en conocimientos y procedimientos prácticos apunta a la resolución de competencias en el manejo de habilidades manuales, nuevas capacidades del dibujo y, a pensar en tres dimensiones que promueva el aprendizaje. Son prácticas continuas de observación, ejercitación en dos y tres dimensiones a través de modelos cristalinos similares a estructuras minerales.

El concepto integrado de la Cristalografía y la Óptica mineral, permite el entendimiento de como los átomos, iones y moléculas se apilan para formar estructuras cristalinas, la importancia de sus propiedades intrínsecas con el medio óptico, que conduce al conocimiento físico de los minerales con aplicación de uso industrial y de beneficio a la sociedad.



Universidad Nacional de Catamarca  
Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas  
Catedra de mineralogía I.

Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca

ISBN 978-987-661-271-5

## CRISTALOGRAFIA MORFOLÓGICA

El estudio fundamental de la morfología geométrica, se basa en tres leyes fundamentales:

- ✓ La Ley de la Simetría, expresa que todos los cristales de la misma sustancia poseen los mismos elementos de simetría, el plano de simetría, el eje de simetría y el centro de simetría.
- ✓ La Ley de la Racionalidad de los índices o parámetros, establece la importancia de la notación de las caras de un cristal en relación con los ejes cristalográficos que será expresada en índices.
- ✓ La Ley de la Constancia, define que el ángulo de intersección de dos caras, es una constante en una misma sustancia, independiente de la forma y el tamaño.

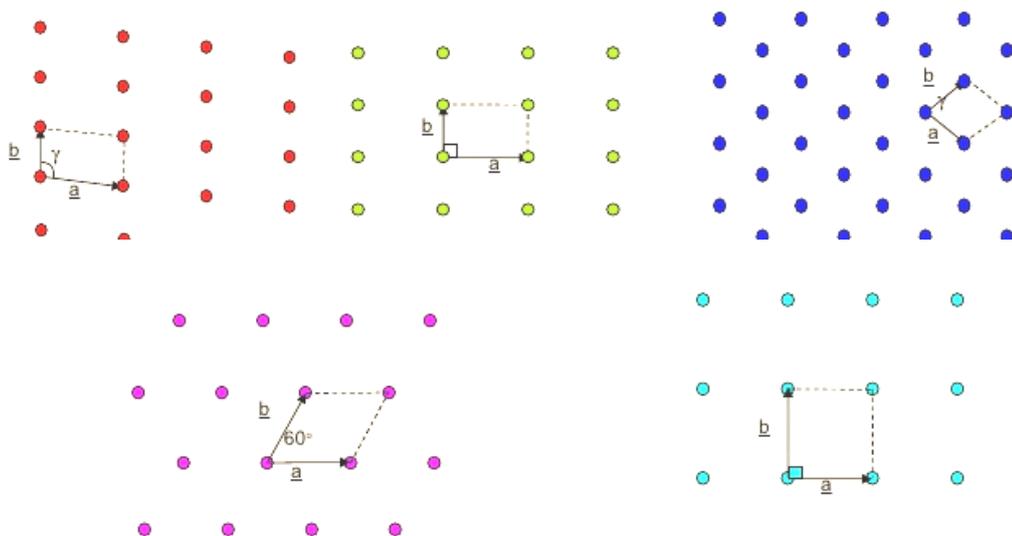
Las actividades prácticas, inician con la observación de la red plana en modelos cristalinos, para luego integrar su posición en el espacio tridimensional y correlación con el sólido cristalino. Para ello, el poliedro se ubica en posición a los tres ejes cristalográficos y a sus valores angulares, en el espacio tridimensional.

Este proceso de ejercitación no es sencillo, es gradual y, se va construyendo con el manejo y ejercitación practica a través de la observación de parámetros en dos direcciones dentro de la configuración tridimensional.

El estudio practico, debe seguir tres pasos:

### 1. Reconocimiento y definición de la Red Bidimensional.

La celda elemental, es una porción de la red que por repetición o traslación de átomos, iones o moléculas genera la red completa definiendo cinco redes posibles: oblicua, rectangular, rómbica, hexagonal y cuadrada.



Para construir una red tridimensional, el alumno inicia con el reconocimiento de la red plana en la forma cristalina. Conceptualmente, una red plana es una construcción imaginaria adonde los motivos, considerados como átomos, moléculas o iones se conectan en estructuras simétrica en dos direcciones referidos a un sistema de ejes cartesianos ortogonales, llamados parámetros, forman un ángulo denominado gama, considerado siempre un ángulo horizontal en cinco redes cristalinas iniciales. El ejemplo en la imagen 1, se observa una configuración cuadrada en un modelo cristalino, el octaedro.

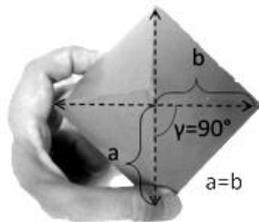


Imagen 1. Red plana de configuración cuadrada y relación de los parámetros de la red. Ubicación espacial de la red,  $a=b$  y  $\gamma=90^\circ$ .

Esta práctica reconoce los parámetros de las distintas redes, asocia los elementos geométricos caras, aristas y vértices en posición con la cruz axial, para la ubicación en el espacio el modelo cristalino.

Este proceso es una práctica que realiza en los 47 modelos construidos, sobre el manejo, observación y ejercitación plana-tridimensional continua. Los resultados de la actividad el alumno desarrolla habilidades de ubicación en el espacio plano-tridimensional, posiciona los elementos geométricos, interpreta correctamente la simetría y tareas gráficas con el dibujo. Podrá asimilar los caracteres de la simetría en tres dimensiones y representar un dibujo de proyección plano.

## 2- Descripción de la Red Tridimensional. Aplicación de leyes

El segundo paso es aplicar la ley de la simetría. La descripción de las propiedades de un sólido cristalino se explica por la red de Bravais, que especifica cómo las unidades básicas que lo componen (átomos, grupos de átomos o moléculas) se repiten periódicamente a lo largo de un modelo cristalino o cristal, como mencionamos anteriormente.

La propiedad característica del medio cristalino es ser *periódico*, es decir tiene distribución simétrica de las partículas a lo largo de cualquier dirección. La *homogeneidad* es una propiedad que indica una fase homogénea, no separable por medios mecánicos en dos o más sustancias y la *anisotropía* es una propiedad que depende de la dirección que se mide.

La red tridimensional o forma cristalina es *un* grupo ideal de caras equivalentes, relacionadas por elementos de simetría que exhiben las mismas propiedades físicas y químicas, Dana 2006. Para describir una forma cristalina es un procedimiento práctico que integran conceptos anteriores acerca de la visualización de la red plana en el espacio tridimensional, situado en referencia a un sistema de ejes a, b y c contiene a los ejes de referencia z, y, x conocidos como ejes cristalográficos, imagen 2

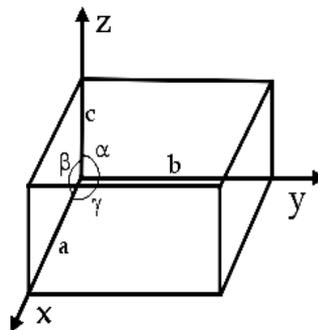


Imagen 2. Los ángulos, junto a los vectores a, b y c, se denominan “*parámetros de la red*”, y permiten determinar las propiedades geométricas de la celda

El examen tridimensional de la red se aprecian los elementos de simetría intervinientes, en entidades geométricas (puntos, líneas y planos) intentando que, a través del movimiento del modelo, según las operaciones de simetría (rotación, reflexión e inversión), hasta llegar con ese movimiento a la configuración inicial.

El punto tomado como origen (puntos, líneas y planos) se mantiene fijo es la transformación, es decir que el movimiento de los elementos geométricos intervinientes el operador de *traslación* que opera en la estructura cristalina microscópica, queda eliminada como operación de simetría. La transformación, transforma planos en planos y rectas en rectas. Esto significa que la operación de simetría es un caso particular de transformación lineal, que puede también ser descrita como una transformación de coordenadas en la que el origen se conserva.

La aplicación sucesiva de la transformación, de una operación de simetría, permite observar, por ejemplo, que las caras de distintas formas cubicas pueden ser no cuadrados; las del tetraedro triángulos equiláteros; sin embargo, es indicativo en la observación de la red.

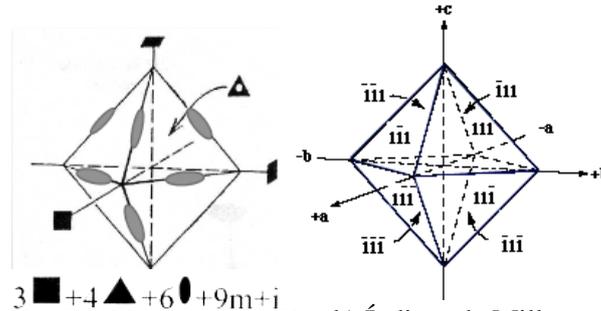


Imagen3. Red tridimensional a) Simetría cristalina b) Índices de Miller para las caras del cristal

Con el análisis de los elementos de simetría intervinientes ha quedado definido, la clase cristalina que se describen por combinaciones de los elementos de simetría. La notación Hermann Mauguin, en cristalografía es la más usada debido a que puede fácilmente incluir a los elementos de simetría traslacional y especifica la dirección de los ejes de simetría.

Para el caso del octaedro una forma cristalina simple, la notación Herman Mauguin para la clase es  $4/m \bar{3} 2/m$ . El primer término simboliza el eje de simetría principal o de mayor orden, que coincide con el eje c de referencia y m es un plano perpendicular a él, el segundo término a las cuatro direcciones diagonales (en este caso corresponden a ejes ternarios de roto inversión) y el tercero a las direcciones entre las aristas que corresponde a ejes binarios. Esta notación corresponde a la clase denominada Hexasquisoctaédrica, la clase de mayor simetría.

Una vez lograda la identificación de la forma geométrica, la clase de simetría y el sistema cristalino a que pertenece, es conveniente asignar los índices correspondientes a la cara, con una notación sencilla siempre teniendo en cuenta al sistema de representación (cruz axial). Por ejemplo, la forma de un octaedro se le asigna la notación de  $\{111\}$ , y para una cara se encierra con paréntesis, imagen 2.

Esta actividad conlleva una exhaustiva práctica, de observación y ejercitación tridimensional, así mismo el conocimiento y el entendimiento para obtener resultados integradores óptimos de la morfología del cristal.

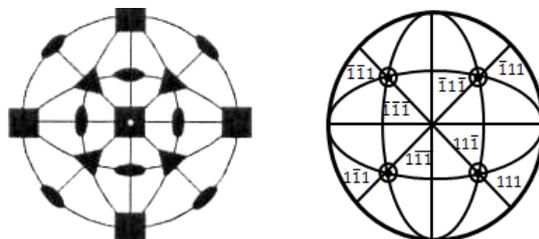
Es interesante este paso de la morfología aplicada, pues conecta conocimientos descriptivos de la simetría cristalina, aprende nuevas terminologías, simbologías, relaciona el dibujo redes planas y tridimensionales, los elementos de simetría y la geometría de las caras. Define sistemas cristalinos, de la relación de paramentos y ángulos y las treinta y dos formas de configuración poliédrica en los cristales, desde el análisis de los elementos de simetría.

### 3- Construcción de Dibujos en Proyecciones Estereográficas

Esta actividad utiliza la proyección o representación del dibujo tridimensional llevado al plano bidimensional. Se aplica una vez concluida las tareas del estudio morfológico del cristal, pues la representación de proyecciones es el pasaje tridimensional a bidimensional, en un dibujo estereográfico.

Es una ejercitación practica complicada, pues implica la construcción de estereogramas y para ello, requiere del conocimiento mencionados en los dos pasos anteriores y se suma la medición de ángulos diedros de aplicación en estereogramas. El estereograma es un medio de representar un cristal tridimensional en un plano bidimensional, revela la relación angular de las caras (polos) y la simetría.

Son representaciones graficas donde la circunferencia es un plano y el dibujo a trazos indica la falta de este elemento de simetría. En cambio, la línea recta de trazo continuo indica la posición del plano de simetría; mientras que el eje de simetría se denota por símbolos situados en los extremos de esta línea punteada. El círculo lleno indica una cara en el lado positivo de los ejes, mientras que el círculo vacío es una cara que está en el lado negativo de los ejes.



3A4 4A3 6A2 9mi

Imagen 4. Proyección estereográfica octaedro. a) Estereogramas de elementos de simetría y b) ubicación de polos.

Como ejemplo, se representa en la imagen 3 el octaedro, se observan dos estereogramas, uno es la representación de los elementos de simetría (izquierda) y el segundo representa la posición de caras denominado polos (derecha), que gráficamente se indican por puntos y círculos.

El estudio de la morfología del cristal finaliza con esta actividad, integrada y observada en un plano bidimensional. El estudio de la geometría, ángulos y la simetría del cristal en estereogramas, representan dibujos en perspectivas plano y con referencia espacial a los ejes cristalográficos.

La Cristalografía aplicada, al estudio de los minerales, mediante la trayectoria de la luz con el microscopio, permite el reconocimiento e identificación de minerales en preparados delgados



y pulidos, para la observación en un plano bidimensional, podrá correlacionar la geometría de las caras, la simetría del cristal con el medio óptico.

## MINERALOGÍA ÓPTICA

Es el estudio de los minerales y el comportamiento que tiene la trayectoria de la luz polarizada en distintos medios. Es un procedimiento que permite reconocer e identificar los minerales, además de establecer características texturales, como así también el ámbito genético.

Debemos tener en cuenta que el análisis mineralógico se sustenta en el uso del microscopio de luz polarizada, de la lámina delgada y las propiedades ópticas de los minerales.

Microscopio Polarizante: También llamado microscopio petrográfico, el cual utiliza la luz polarizada producida por una lámina polaroide llamada polarizador, a este tipo de luz se le denomina PPL (luz polarizada plana), y para analizar otras propiedades se emplea una segunda lamina polaroide (llamada analizador) y se le denomina XPL (luz polarizada cruzada).

El microscopio petrográfico se puede utilizar con o sin analizador, y dispone dos combinaciones de dispositivos esenciales, que son:

- a) Dispositivo ortoscópico (o luz paralela). La observación se realiza sin analizador y con analizador. El haz luminoso está compuesto por rayos paralelos e incide perpendicularmente en la lámina delgada.
- b) Dispositivo conoscópico (o luz convergente) se obtiene incorporando la lente de Bertrand, un objetivo de gran aumento y la lente frontal del condensador.

Lamina delgada: Para poder estudiar e identificar los minerales en el microscopio es necesario seguir un proceso de preparación para transformar la muestra en lamina delgada hasta que alcance un espesor de unas 30 micras.

Propiedades de los minerales: Los minerales en lámina delgada se pueden clasificar como opacos y transparentes. Para el estudio de los minerales opacos se necesita el empleo de un microscopio de luz reflejada (también denominado metalográfico) en donde la muestra se examina mediante reflexión. Es decir, cuando la luz refleja a través de un cristal, parte de ella queda absorbida y cuando la absorción es total el cristal se ve negro.

Para los minerales *transparentes* se utiliza microscopios de refracción, es cuando la luz refracta un cristal, partes de las radiaciones atraviesan el cristal, entonces se habla de materiales transparentes. Los minerales opacos se observan negros con y sin analizador, mientras que los minerales transparentes se observan de aspectos sucios.

#### Procedimiento: diferenciación de minerales transparentes de opacos microscópicamente

1. Los minerales opacos: son minerales que no transmiten luz cuando se examinan en lámina delgada, por lo tanto al girar la platina no se observan cambios ni variaciones de color, es decir, se observan negros siempre con y sin analizador.
2. Los minerales transparentes: Son aquellos que dejan pasar la luz, por refracción en consecuencia se puede observar en los minerales distintas propiedades y características como el color; apariencia o forma; exfoliación; índice de refracción.

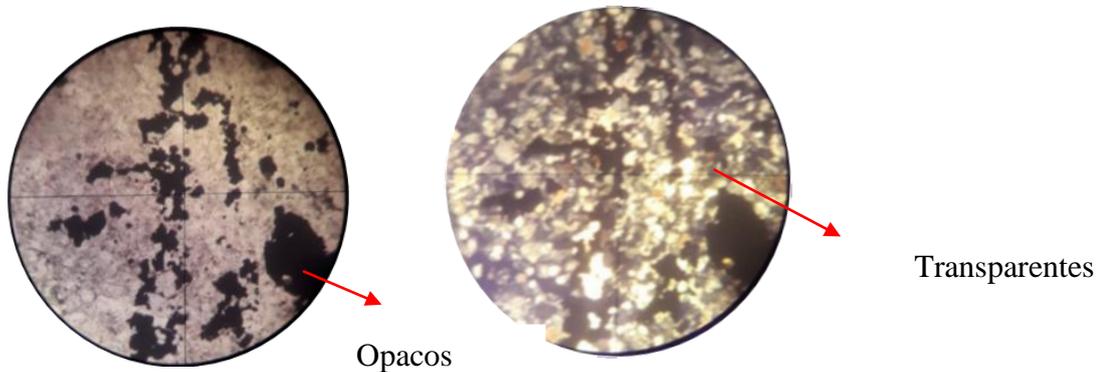


Imagen 5. Minerales transparentes y opacos. a) Luz PPL b) Luz XPL

Los minerales transparentes se dividen en isótropos y anisótropos.

- Isótropos: Los minerales isótropos pertenecen al sistema cubico. En los minerales isótropos la luz viaja a la misma velocidad en todas las direcciones, es decir, tienen igual índice de refracción por lo cual presentan siempre el mismo comportamiento independientemente de la dirección.  
“Al observarlos microscópicamente con luz polarizada plana y con nicoles cruzados aparecen de color negro”.
- Anisótropos: Corresponden a los minerales del resto de los sistemas (tetragonal, hexagonal, monoclinico, triclinico y ortorrómbico). Presentan propiedades que varían con la dirección, es decir, presentan diferente índice de refracción y la velocidad de la luz, varía dependiendo de las diferentes direcciones cristalográficas.

En los cristales anisótropos la luz se descompone en dos rayos que se denominan *rayo lento* y *rayo rápido*. Se caracterizan también por presentar *birrefringencia* o doble refracción que es la diferencia de índices extremos (N-n).

Los minerales anisótropos pueden ser uniáxicos (con un eje óptico) o biáxicos, (con dos ejes ópticos).

Los minerales uniáxicos corresponden a los minerales que cristalizan en el sistema tetragonal y hexagonal. Están caracterizados por presentar un eje óptico, dos índices de refracción y dos velocidades de vibración.

Procedimiento: diferenciación de minerales isótropos de anisótropos

1. Los minerales isótropos son los que presentan las mismas propiedades independientes de la dirección. Es decir que al girar la platina con nicoles cruzados el mineral permanece extinguido a lo largo de los 360° de rotación. Por ejemplo, el granate.

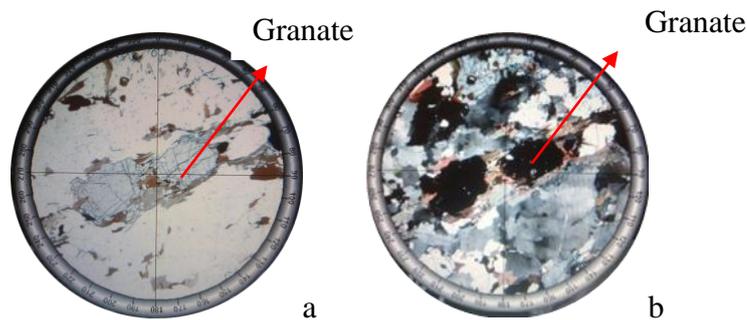
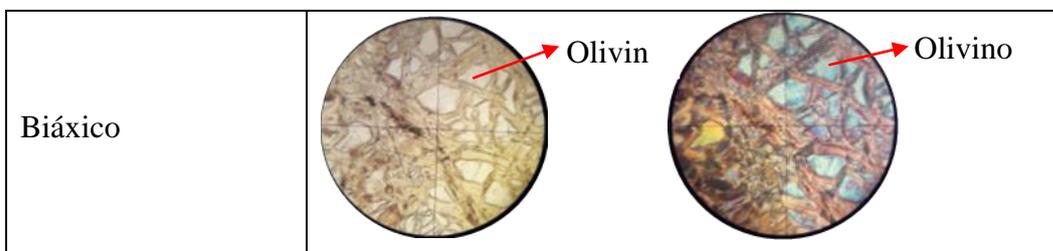
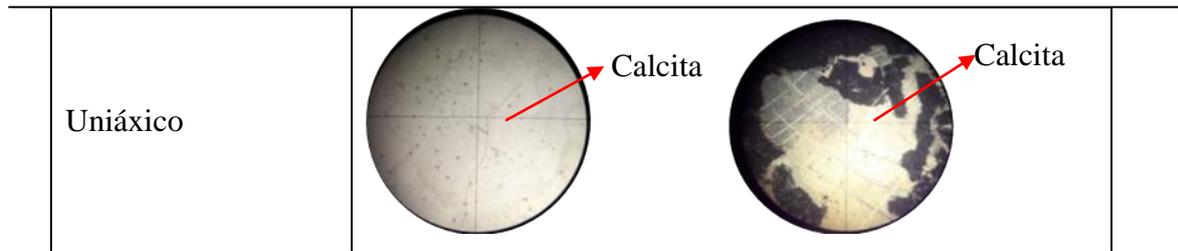


Imagen 6. Mineral de granate isótropo a) sin analizador b) con analizador

2. Los minerales anisótropos presentan más de un índice de refracción, por lo cual existirá variaciones en las propiedades. Por ejemplo





Procedimiento: Determinación de propiedades.

Para todos los grupos de minerales formadores de rocas se reconocen las siguientes propiedades y/o características ópticas:

1. Observaciones sin analizador:
  - Forma
  - Habito
  - Clivaje
  - Color
  - Pleocroísmo (solo se observa en minerales coloreados)
  - Índices de refracción
  - Relieve
  - Fracturas
  - Alteraciones
  
2. Observaciones con analizador
  - Color de interferencia
  - Birrefringencia
  - Angulo de extinción
  - Elongación
  - Maclas
  - Intercrecimiento
  
3. Observaciones con analizador y luz convergente
  - Carácter uniaxial o biaxial
  - Signo óptico (+) (-)
  - Angulo  $2V$
  - Orientación del elipsoide
  - Dispersión

Observación sin analizador o con luz paralela (PPL)

Forma

Es un rasgo importante en la identificación de minerales al microscopio y en la caracterización de texturas de la roca. Cuando un mineral presenta un gran desarrollo de sus caras cristalinas indica que ha sufrido un proceso de enfriamiento lento por lo cual los cristales tuvieron tiempo de formarse, por lo contrario, cuando los minerales no presentan desarrollo indican que sufrieron un enfriamiento brusco. Microscópicamente la forma en los minerales hace referencia al contorno y se puede observar con y sin analizador.

- Euhedral o idiomorfo: Es cuando el mineral logra un gran desarrollo de sus caras, es decir que tiene un desarrollo definido.
- Xenomórficos o anhedrales: Son granos con formas irregulares. Son los que no han desarrollado caras propias de la especie mineral a que pertenece el grano.
- Subhedral o hipidiomorfo: Es cuando algunas de las caras del mineral están bien formadas. Representan una situación intermedia entre los dos tipos anteriores.

### Color

El color de un mineral en lámina delgada depende de la absorción que experimentan los rayos luminosos al atravesar la sección del mineral, depende también de las propiedades ópticas del mineral y del espesor de la lámina.

El procedimiento de observación del color se realiza sin analizador, pudiéndose establecer si se trata de minerales incoloros o coloreados.

En el caso particular de los minerales coloreados isótropos, el color se mantiene constante en toda la superficie del cristal, mientras que en los minerales coloreados anisótropos se debe averiguar si se observa un cambio de intensidad o de tonalidad al girar la platina del microscopio.

En los minerales anisótropos, la absorción puede ser diferente dependiendo de la orientación del corte de la sección del mineral y de la dirección de vibración de los rayos dentro de ella.





Imagen 7. Ejemplos de minerales incoloros y coloreados

### Pleocroísmo

Quando se observan minerales al microscopio con luz polarizada y no analizada, algunos sufren cambios de color, cuando se gira la platina del microscopio. Este fenómeno recibe el nombre de «pleocroísmo» y es una propiedad muy útil en la identificación de algunas especies minerales anisótropas. Los minerales isótropos no presentan pleocroísmo.

Se define como la variación de color o de intensidad de color que puede experimentar un cristal en un giro completo de la platina del microscopio; se debe a la absorción diferencial de la luz polarizada según las diferentes direcciones de vibración del mineral.

En el caso de la biotita, presenta mayor absorción (rayo lento) para las líneas de exfoliación del cristal están en la dirección N-S. La oscuridad de los tonos aumenta al ir girando la platina.

El procedimiento para determinar si un cristal es o no pleocroico basta con girarlo en la platina del microscopio.

En los minerales coloreados dimétricos (Hexagonal y Tetragonal) o uniaxiales, se determinan dos colores, debido a sus dos medidas iguales parametrales, mientras que, en los minerales, trimétricos (Rómbico, Monoclínico y Triclínico), puede haber tres intensidades o tonalidades distintas, pues tienen tres ejes cristalográficos diferentes.

Las intensidades máximas o de mayor absorción corresponden a las secciones paralelas al eje c, lo que es lo mismo a la dirección de vibración del rayo más lento y el índice de refracción mayor.

- 1.- Se debe buscar secciones paralelas por lo menos a uno de los ejes del elipsoide, (sección paralela al eje c);
- 2.- Se orienta el mineral, determinando las direcciones de vibración correspondiente a los rayos más lentos y a los rayos más veloces. Cuando se dijo precedentemente, la dirección de

vibración de los rayos más lentos, corresponde al mayor índice de refracción y mayor intensidad de color

3.- Se anota el color observado en esa posición.

4.- Se gira la platina a  $90^\circ$  y se anota el nuevo color, correspondiente a los rayos más veloces y de menor índice de refracción.

Se debe recordar que en las secciones basales de los minerales anisótropos, el eje cristalográfico c, es perpendicular al plano del microscopio, lo que significa que al observar y hacer girar la platina, el mineral coloreado no cambia de intensidad de color y al colocar el analizador (minerales anisótropos uniaxiales), esta sección se comporta como isotrópica.

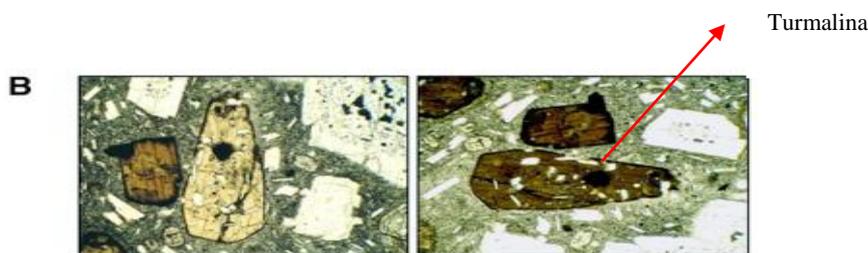


Imagen 8. Variación de la absorción las diferentes longitudes de onda, en un mineral pleocroico, en función de su orientación. B) Ejemplo de mineral con pleocroísmo intenso, al girar la lámina  $90^\circ$  el color varía desde un amarillo claro hasta un marrón oscuro.

### Índice de Refracción:

Cuando un haz luminoso incide en una superficie cristalina con dos medios que tienen distintos índices de refracción, una parte del haz se va a reflejar y la otra se propagará a través del segundo medio con una velocidad diferente, dando lugar a su desviación. La velocidad de propagación y el índice de refracción dependen de la longitud de onda, por tanto, existe una desviación distinta según el color de la luz que se refracta.

La luz pasa de un medio poco refringente (que apenas permite la refracción), a otro que refracta con más facilidad sucede que parte de esa luz es reflejada, y el resto es refractado o absorbido. En un caso contrario, por ejemplo, en que el primer medio es el más refringente, todo sucede de manera similar, pero hasta llegar a un punto, que sería un ángulo límite, a partir del cual, aunque aumente el ángulo de incidencia ya no hay refracción.

“Cuanto mayor sea el índice de refracción de un medio, menor será la velocidad de la luz al atravesarlo. Los valores comunes de índice de refracción en los minerales están entre 1,5 y 2.0.”



## Procedimiento de diferenciación del medio y determinación del índice bajo el microscopio

### Medio isótropo y anisótropo

Minerales isótropos: estos minerales solo muestran un solo índice de refracción en donde la luz se propaga a través de ellos con igual velocidad en todas direcciones.

Minerales Anisótropos: una de sus características es presentar doble refringencia en donde el rayo luminoso que incide da lugar a dos rayos refractados que salen formando un ángulo y la velocidad de propagación de la luz varía según la dirección.

### Determinación del índice de refracción con microscopio petrográfico:

Si bien no se pueden hacer medidas cuantitativas en cortes delgados el proceso de identificación consiste en determinar si el mineral tiene un índice de refracción mayor o menor que el índice de refracción del Bálsamo de Canadá que es la otra sustancia con la cual se compara para obtener una estimación.

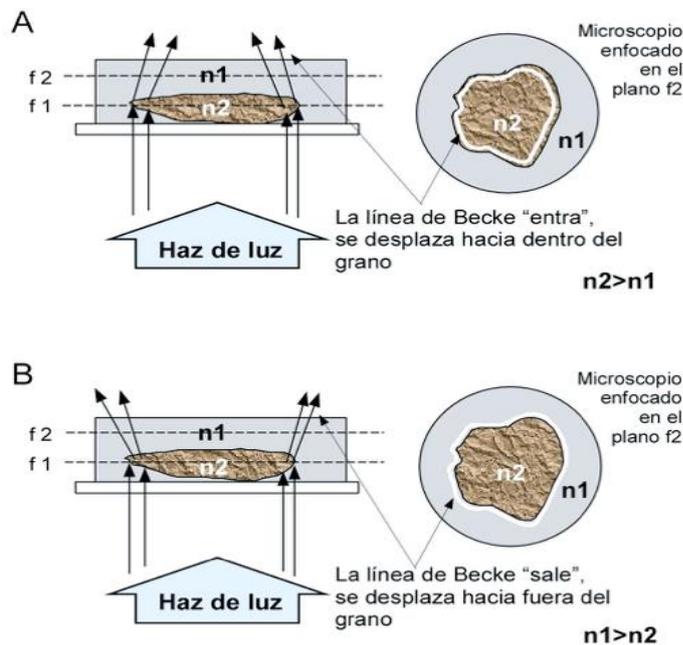
El método principal es el proceso de Iluminación Central: este proceso se basa en el fenómeno de la reflexión total de la luz incidente cuando pasa de un mineral a otro de mayor o menor índice de refracción. Este método se emplea para comparar con el bálsamo los índices de refracción de varios minerales en sección delgada, para comparar unos minerales con otros cuando se observan en contacto y para comparar fragmentos minerales con los varios medios de inmersión.

El procedimiento práctico es encontrar la línea de Becke, la cual es una línea luminosa que permite comparar los índices de refracción de dos minerales en contacto cuando se examina en microscopio sin analizador. Esta línea se produce por la acumulación de luz. Para ver esta línea es necesario tener el diafragma iris parcialmente cerrado y el tubo de microscopio ligeramente levantado

Primero hay que tener en cuenta que el microscopio debe estar con el diafragma iris cerrado, entonces una vez que la muestra mineral de corte delgado está colocada en la platina y sin analizador se procede a mover la muestra hasta encontrar dos minerales en contacto del mismo con el Bálsamo de Canadá u otros adyacentes.

- Lentamente se enfoca los contactos luminosos o línea de Becke subiendo (desenfocando) y bajando el tubo del microscopio hasta encontrar dicha luminosidad que se desplaza hacia el mineral de mayor o menor índice.
- Hay q tener en cuenta que si el tubo del microscopio es levantado la línea de Becke se mueve hacia el medio que tiene mayor índice de refracción y cuando el tubo es deprimido la línea de Becke se mueve hacia el medio de índice de refracción más bajo.

#### Esquema formación de la línea de Becke



#### Relieve:

Se define como la diferencia de índice de refracción del mineral considerado y el bálsamo de Canadá, esta propiedad da una sensación de volumen entre el mineral y el pegamento utilizado, solo por tener distintos índices. "El relieve de un mineral montado en bálsamo va a depender solamente del índice de refracción del mineral y del bálsamo de Canadá".

Se destaca que:

- Aquellos minerales con índice de refracción bajo (como la criollita) e índice de refracción alto (como espinela) presentan un relieve fuerte.
- La diferencia será grande si el mineral se destaca mucho, si no se destaca mucho el mineral la diferencia es pequeña y presenta contornos poco definidos.
- El relieve de un mineral se estima como:  
Relieve alto, si la diferencia de índices es superior a 0,12.

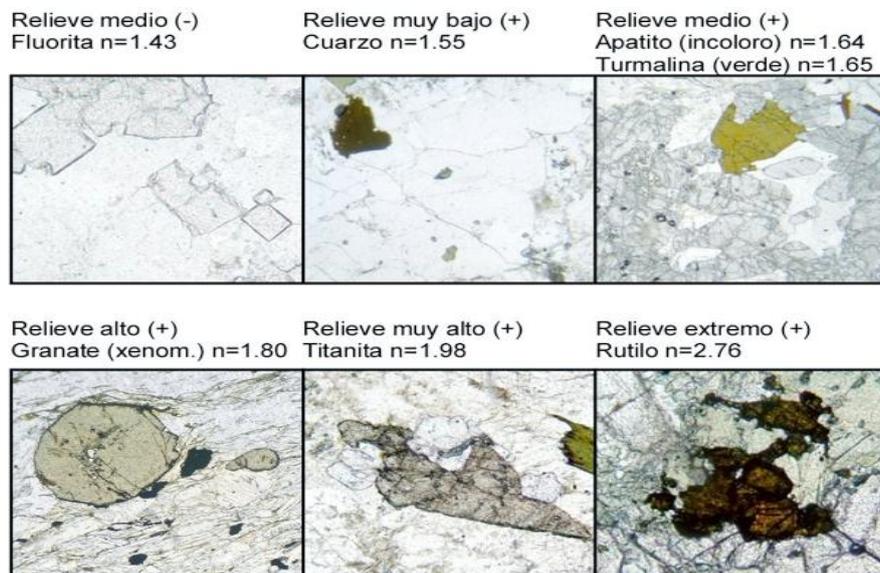
Relieve moderado si es una diferencia entre 0,04 y 0,12.

Relieve bajo, si existiera una diferencia menor a 0,04.

Una característica de aquellos minerales anisótropos es que al tener doble refringencia el relieve varío al girar la platina, tanto más cuanto mayor es su birrefringencia.

En la práctica se realiza la diferencia entre el índice de refracción del mineral (muchas veces ya predeterminado) y el índice del bálsamo de Canadá. Observando en el microscopio los contornos podemos darnos cuenta si presenta un relieve muy marcado, alto o bajo

#### Esquema de identificación del relieve



Aunque en la mayor parte de los casos, el relieve es directamente proporcional al índice de refracción podemos tener relieves negativos, bajos o moderados en el caso de minerales con índice de refracción muy bajos

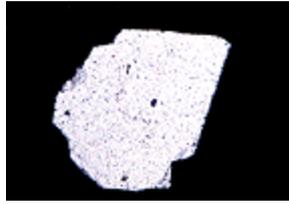
#### Alteraciones:

Las alteraciones son procesos, ya sea por oxidación e hidratación etc., generalmente tardío y superficial que transforma un mineral en otro. Los tipos son múltiples y complejos y varían dependiendo del tipo de mineral y tienen lugar por cambios de temperatura, cambios químicos, exposición atmosférica con abundancia de agua, cambios de PH, etc.

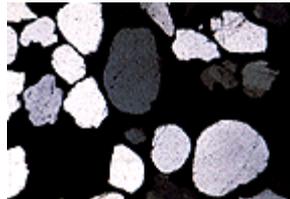
Dichos procesos pueden comenzar en las zonas de borde de los cristales, planos de exfoliación, o fracturas y pueden llegar a transformar completamente al mineral original.

Procedimiento para reconocer alteraciones en el microscopio hay que tener en cuentas ciertas características:

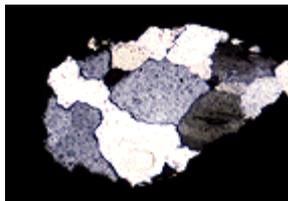
- ❖ Un cristal de un mineral no alterado presenta una superficie homogénea, con un sólo color de interferencia.



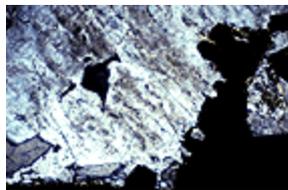
- ❖ Si existen varios granos de un mismo mineral cada grano mostrará su propio color de interferencia.



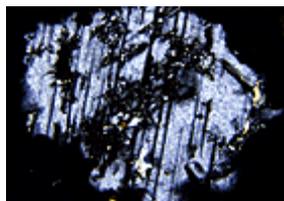
- ❖ Si se trata de un grano constituido por la asociación de varios cristales presentará diversos colores, pero será único para cada cristal individual.



- ❖ Cuando el mineral se altera aparece con aspecto heterogéneo, con cambios de color.



- ❖ Los minerales pueden alterarse mediante disolución



- ❖ bien transformándose en otros minerales

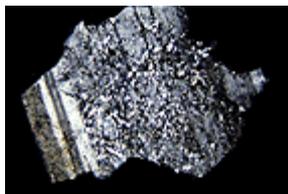




Imagen 9. Minerales típicos de alteración sericitita, serpentina y clorita

### Fractura

Son discontinuidades que dependen de condiciones externas, como deformaciones tectónicas, si bien pueden ser útil para la identificación de los mismos. Se pueden describir cuando son muy abundantes o presentan alguna característica especial como estar rellenas de otros minerales ya que esto favorece la alteración.

Procedimiento de identificación: Se debe tener en cuenta que son líneas irregulares que carecen de direcciones definidas en un grano del cristal determinado

### Elongación

Es la relación entre las dimensiones principales del cristal (eje c cristalográfico) y la magnitud de los índices de refracción correspondientes a ellas.

- ✚ Si en la dirección más larga del mineral vibra el componente lento se dice que el mineral presenta *elongación positiva o es "largo-lento"*. En caso contrario se habla de *"largo-rápido" o de signo negativo*.

Procedimiento determinación Se utiliza un compensador que puede ser una lámina o cuña ya que esta tiene su componente rápido vibrando en la dirección más larga.

1° Se centra el mineral a observar en el retículo, y luego se coloca la dirección de alargamiento del cristal en dirección N-S.

2° Se gira la platina a la dirección de extinción más cercana, en donde las ondas de vibración están ubicadas N-S y E-O.

3° A continuación se gira la platina a 45° en dirección horaria, en su máxima iluminación, colocando así la posición de los rayos polarizadores en la misma posición del retardo de la cuña compensadora.

4° Se coloca la cuña compensadora en el microscopio y esta produce un retardo en el rayo que vibra a 45°, sin afectar al que se encuentra perpendicular a este.

Al colocar el compensador será posible observar dos fenómenos:

- ⇒ Si el color ha bajado el mineral es de elongación positiva (+) o "largo-lento" (el rápido del compensador ha coincidido con el lento del mineral, en la dirección de alargamiento)
- ⇒ En cambio, si el color de interferencia sube el mineral es largo-rápido (el rápido del compensador ha coincido con el rápido del mineral, en la dirección de alargamiento), y el signo de elongación es negativo (-).

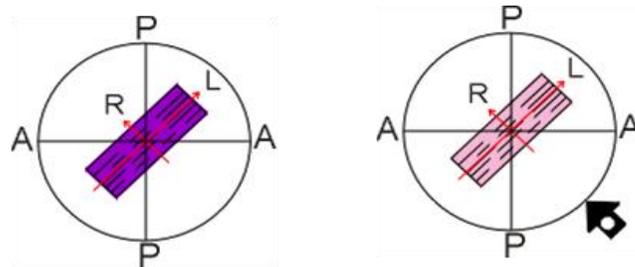
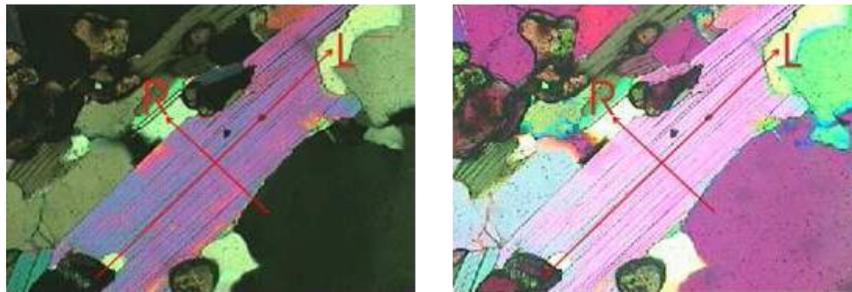


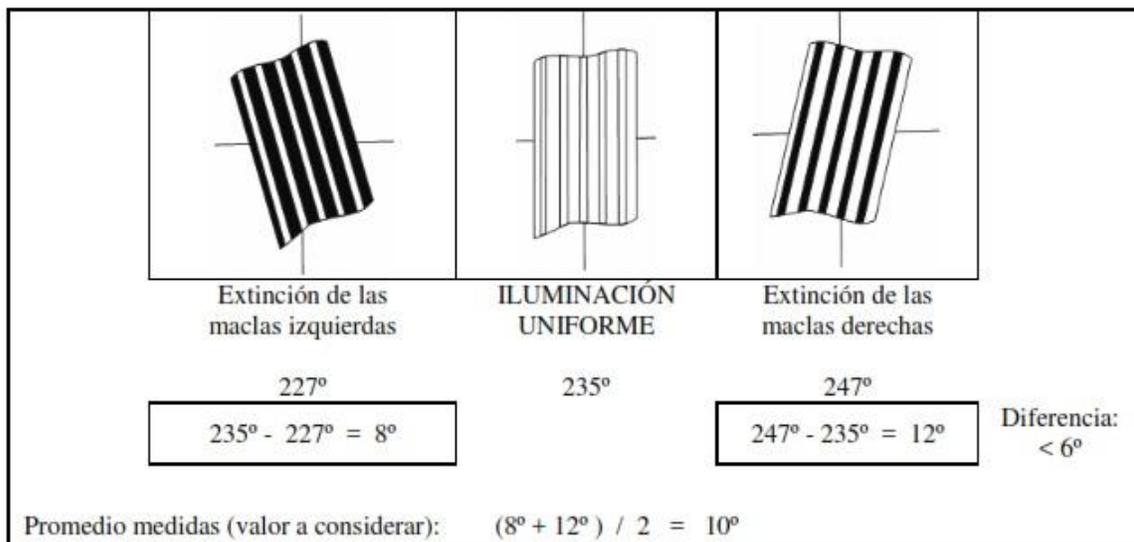
Imagen 10. Elongación positiva en la muscovita, se produce una adición

### Maclas

Las maclas son asociaciones de cristales de la misma naturaleza regidas según leyes geométricas precisas, ligadas a los elementos de simetría del sistema cristalino considerado.

Con los nicoles cruzados se pueden observar las maclas de un mineral. La presencia de maclas da lugar a partes del cristal con distinta orientación óptica, lo cual se refleja por las distintas posiciones de extinción de unas partes del cristal respecto a las otras. Estas partes se encuentran separadas por líneas muy nítidas.

Procedimiento: Determinación de la composición de las plagioclasas usando el método de Michel-Levy



Este método es el procedimiento para determinar la composición de las plagioclasas. Se usa el máximo ángulo de extinción de la macla de la albita. El procedimiento consiste en:

*I) Seleccionar plagioclasas con macla polisintética donde:*

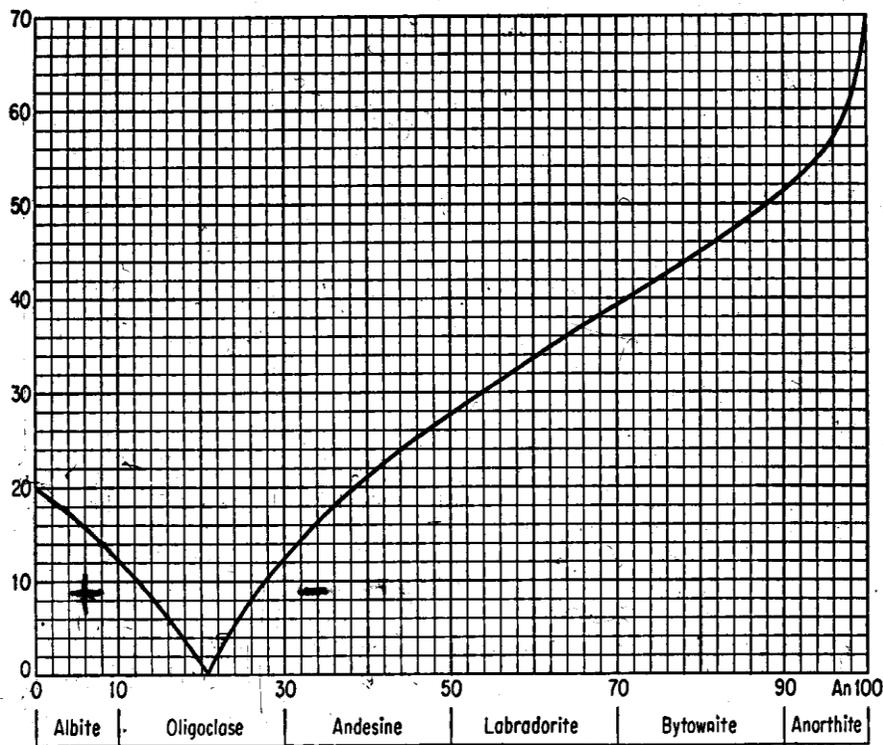
- 1) los planos de macla se vean con claridad
- 2) los individuos de la macla tengan un color uniforme (iluminación uniforme) con nicoles cruzados (todos deben estar iluminados)
- 3) los ángulos de extinción sean iguales cuando la platina se rota hacia la izquierda o hacia la derecha

*II) Una vez encontrada una buena sección se procede a:*

- 1) Oriente la macla N-S y anote la medida del vernier de la platina
- 2) A partir del N gire la platina hacia la izquierda y anote el ángulo de extinción izquierdo. Vuelva al N y gire hacia la derecha obteniendo el ángulo de extinción derecho

- 3) La diferencia entre ambos ángulos deberá ser menor que  $6^\circ$  (si esto no sucede, la sección no es buena)
- 4) El promedio de los ángulos de extinción izquierdo y derecho, se lleva a la gráfica de Michel-Lévy obteniéndose la composición de la plagioclasa
- 5) Si el ángulo de extinción de macla obtenido es menor que  $20^\circ$ , deberá además medirse el índice de refracción y el signo óptico de la plagioclasa. Las plagioclasas con composición  $An_0 - An_{21}$  tienen  $n < n_{\text{bals}}$  y son ópticamente positivas. Las plagioclasas  $An_{21} - An_{38}$  tienen  $n > n_{\text{bals}}$  y son ópticamente negativas.

Nota: este método es estadístico, para que sea valido se deberán medir de 8 a 10 cristales diferentes y obtener un promedio de los ángulos de extinción obtenidos en la tabla de Michel Levy



### Intercrecimientos y alteración

El intercrecimiento se debe a la cristalización simultánea de dos minerales o a la desmezclas de ambos. Los más comunes de los intercrecimiento son:

*Gráfica:* intercrecimiento de cuarzo en feldespato K. En él se verá un cristal de feldespato k que engloba a cristales de cuarzo.

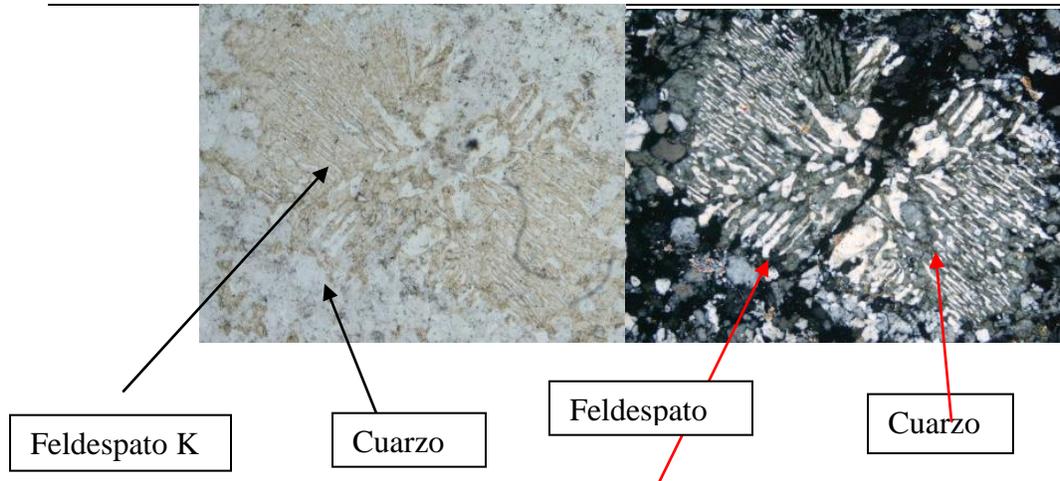
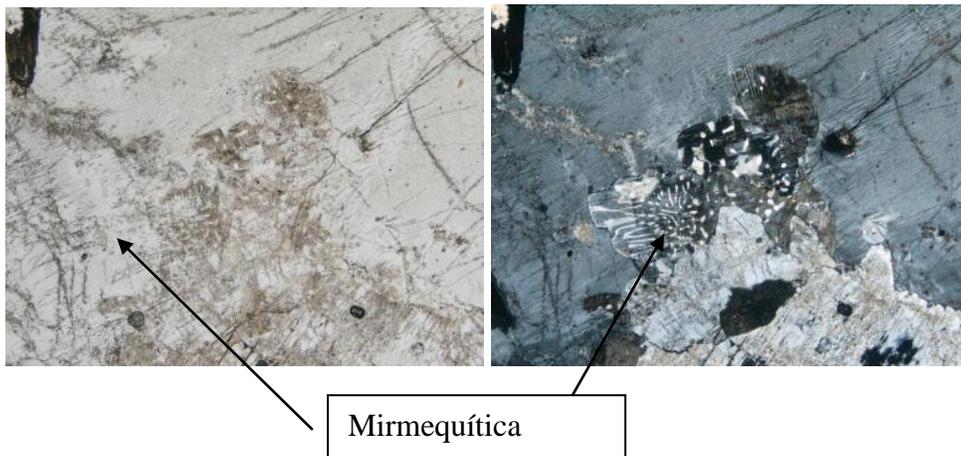


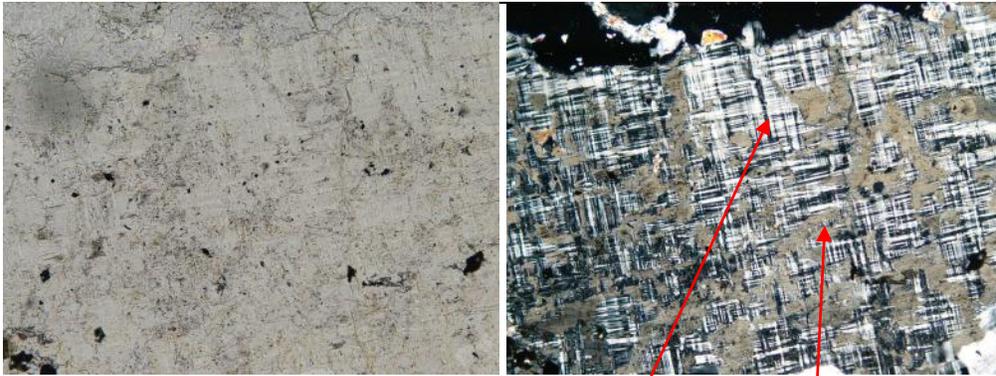
Imagen 11. Feldespato potásico intercrecido con cuarzo de color blanco ( izquierda sin analizador). Feldespato blanco y el cuarzo está representado por la multitud de zonas grises de forma alargada (imagen derecha y con analizador)

### *Mirmequítica*

Cuando el crecimiento se produce entre mineral de cuarzo y plagioclasa (normalmente rica en Na) En las imágenes izquierda sin analizador y la imagen derecha con analizador, se aprecia una roca granítica con un cristal grande de feldespato potásico (arriba) en contacto con otros de plagioclasa (centro y abajo), de tal manera que los cristales centrales desarrollan la textura mirmequítica.



*Pertitas:* Los feldespatos alcalinos constituyen soluciones sólidas en el momento de la cristalización, pero esa miscibilidad deja de ser posible al disminuir la temperatura. El resultado es la exsolución de una plagioclasa sódica dentro de un cristal de feldespato potásico. En la imagen izquierda sin analizador y la imagen derecha con analizador, se aprecia un cristal de microclino con maclado enrejado y textura pertítica: en su interior aparecen zonas claras de un feldespato sódico (Albita) .



Microclino

Albita

*Antiperita*: es una exsolución de feldespato potásico en plagioclasas.



Plagioclasas

Feldespato

### Figuras de Interferencias

Cualquier mineral uniáxico o biáxico producirá, una figura de interferencia visible, la diferencia en los minerales isótropos es que no producen ninguna figura.

Procedimiento de obtención. Elegido un grano apropiado, la obtención de la figura de interferencia es relativamente sencilla.

- ❖ Se enfoca cuidadosamente el microscopio, utilizando luz polarizada cruzada y aumento alto, se inserta la lente conoscópica y la lente de Bertrand. En función de cómo este cortado el mineral con respecto al eje o ejes ópticos, se observan distintos tipos de figuras de interferencia.
- ❖ Según la figura obtenida se podrá establecer si el mineral analizado es uniáxico o biáxico. De forma general y en la sección más favorable, la figura uniáxica se caracteriza por la formación de una cruz oscura que no se rompe al girar la platina.

- ❖ Se puede observar la isogiras que coinciden con el analizador y el polarizador y las isócronas no coinciden con estos ambas constituyen la figura de interferencia de los cristales anisótropos.
- ❖ En el caso de un cristal biáxico, también en el caso de la sección más favorable, se obtiene asimismo una cruz negra, pero ésta se rompe al girar la platina. La utilización de una lámina compensadora en cualquiera de las figuras mencionadas nos aportaría además el signo óptico (positivo o negativo) de los minerales, tanto uniáxicos como biáxicos.

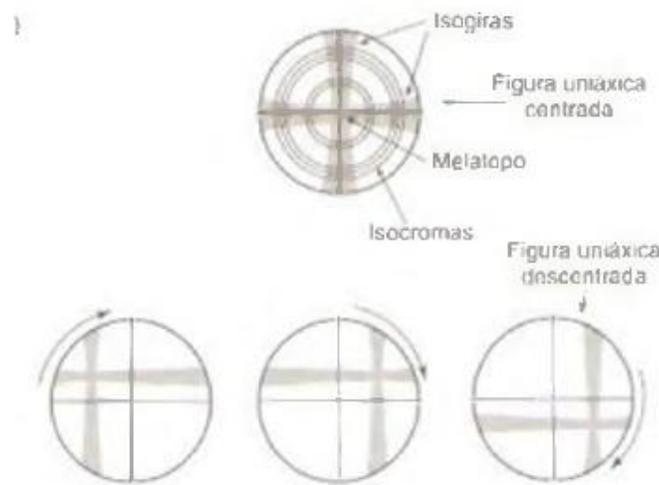


Imagen 12. Minerales uniáxicos. Figuras de interferencia excéntrica

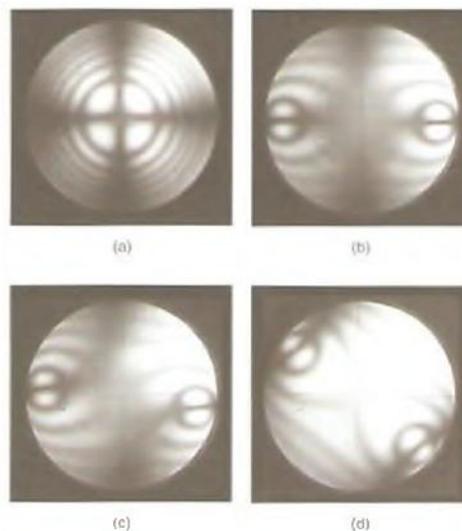


Imagen 13. Figuras de interferencia obtenidas con luz convergente y la lente de Bertrand (a) Figura uniáxica centrada, (b). (c) y (d) Figura biáxica mostrando el movimiento de las isocromas conforme se gira progresivamente la platina.

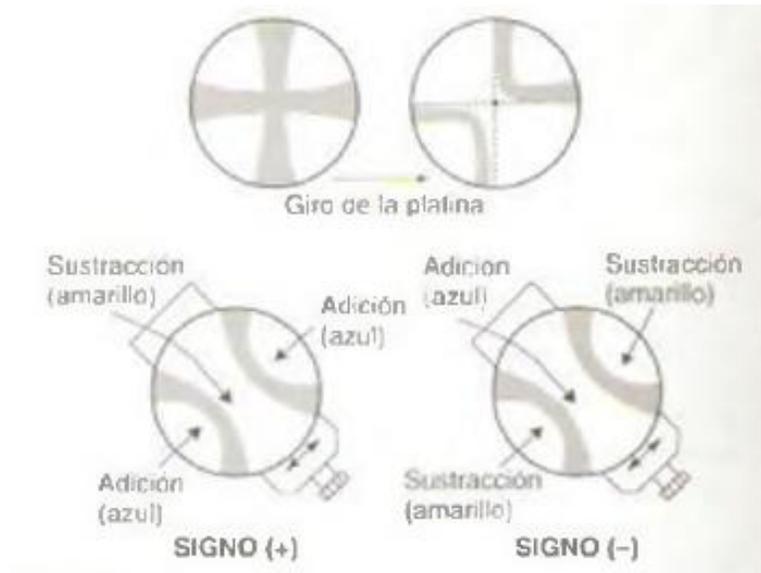
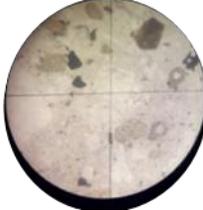
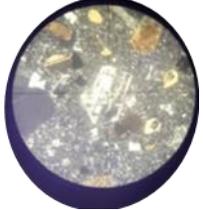
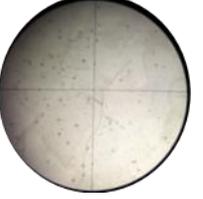
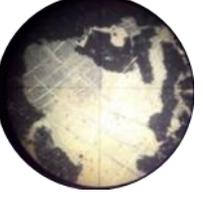
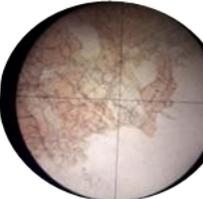
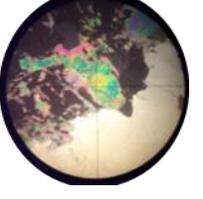
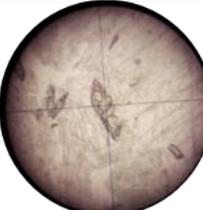
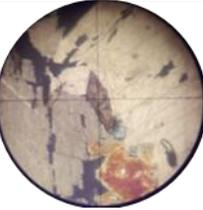
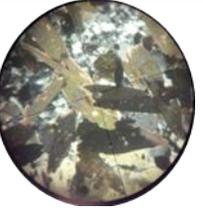
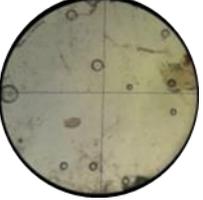
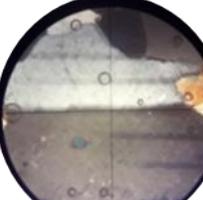


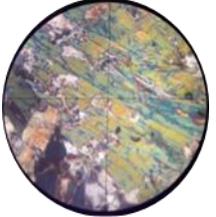
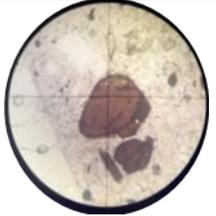
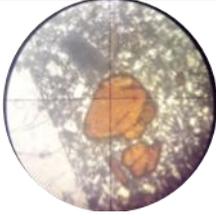
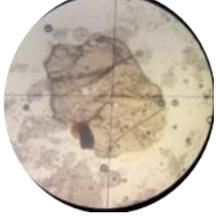
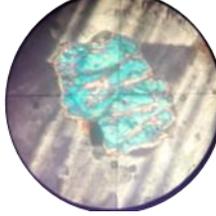
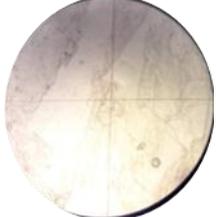
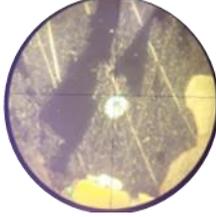
Imagen 14. Minerales biáxicos. (a) Principal figura de interferencia con interés diagnóstico, (b) Determinación del signo óptico en la figura de interferencia anterior.

Obtención de la figura de interferencia se necesita:

- ✓ Condensador desplazado, al máximo hacia arriba, casi en contacto con el corte.
- ✓ Diafragmas de campo y de apertura abiertos al máximo.
- ✓ Objetivo de gran aumento (x40 a x50), con buenos ajustes de centrado con respecto al eje de giro de la platina.
- ✓ Polarizador y analizador cruzados.
- ✓ Lente de Bertrand Amici.
- ✓ Compensadores. Se utilizarán para determinar el signo óptico.

**MUESTRAS DE MINERALES AL MICROSCOPIO PETROGRAFICO**

LAMINA PPL	LAMINA PPX
 <p data-bbox="220 527 326 558"><b>Sanidina</b></p>	
 <p data-bbox="220 768 310 800"><b>Calcita</b></p>	
 <p data-bbox="220 1041 318 1073"><b>Epidota</b></p>	
 <p data-bbox="220 1304 423 1335"><b>Esfena o Titanita</b></p>	
 <p data-bbox="220 1566 350 1598"><b>Turmalina</b></p>	
 <p data-bbox="220 1818 318 1850"><b>Apatito</b></p>	

LAMINA PPL	LAMINA PPX
 <p data-bbox="224 562 467 590"><b>Tremolita-Actinolita</b></p>	
 <p data-bbox="224 831 386 858"><b>Lamprobolita</b></p>	
 <p data-bbox="224 1100 321 1127"><b>Augita</b></p>	
 <p data-bbox="224 1409 358 1436"><b>Hiperstena</b></p>	
 <p data-bbox="224 1682 337 1709"><b>Diópsido</b></p>	



### El microscopio calcográfico

#### Observaciones con luz reflejada. Reconocimiento de sulfuros y óxidos

El estudio óptico de los minerales opacos recibe el nombre de “*Calcografía*” debido a que esta técnica se aplicó en sus comienzos, al estudio de los minerales de cobre. La calcografía también incluye algunas técnicas que se apartan de ser verdaderamente ópticas, tales como corrosión, micro dureza y análisis micro-químicos.

La calcografía o la óptica de reflexión se aplican al estudio de los minerales opacos y tienen gran importancia en los estudios de minerales modernos, particularmente sobre tratamiento de minerales y génesis de yacimientos.

El estudio de los cristales mediante microscopía de reflexión implica una disposición de los equipos experimentales distinta del microscopio de transmisión convencional, y una preparación de las muestras en superficies pulidas, en vez de láminas delgadas.

Aplicación: Mediante la utilización del microscopio de reflexión es posible identificar los distintos minerales que integran una mena, y además determinar la paragénesis y numerosos detalles de las especies participantes, por ejemplo: hábito, textura, inclusiones, crecimiento, etc. Se debe destacar su empleo en la resolución de problemas vinculados con la concentración de minerales, ya que los datos mineralógicos, el tamaño de los granos y el conocimiento de las características geométricas de los minerales o tipo de interpenetración (intercrecimiento) existente entre especies metálicas o de estas con las de ganga, pueden contribuir a decidir sobre el método a adoptar en el proceso de concentración (mesa, separación magnética, etc.) y dar una idea del grado de molienda necesaria para lograr la liberación del mineral o minerales de interés económico.

#### El Microscopio

El microscopio polarizador para luz reflejada, o el microscopio calcográfico se diferencia del microscopio petrográfico esencialmente por su iluminación, la que proviene de un iluminador vertical que alumbra el objeto verticalmente desde arriba.

El microscopio de luz reflejada se utiliza para observar los minerales opacos, para determinar las relaciones paragenéticas entre diferentes fases minerales y su identificación. A menudo, la misma muestra que se ve usando el microscopio óptico se pueden analizar utilizando técnicas avanzadas de rayos X y micro-sonda iónica.

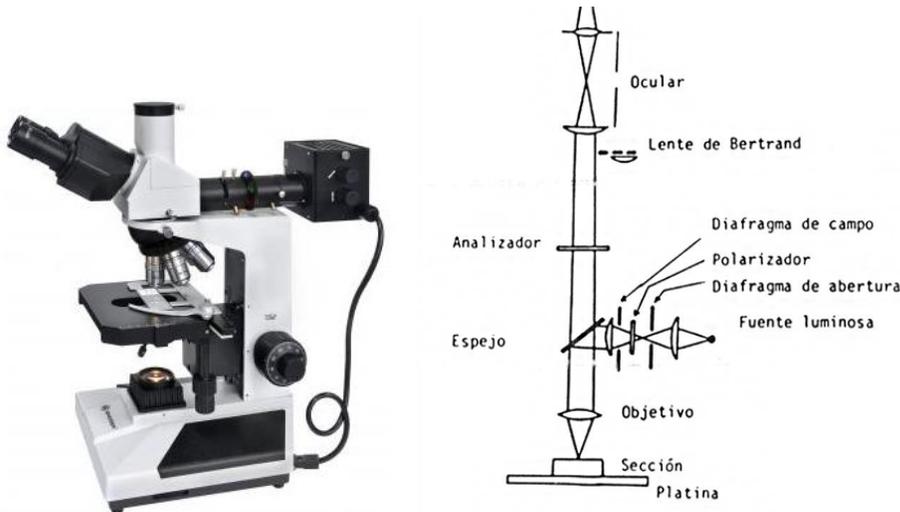


Imagen15. Microscopio Calcográfico. Trayectoria de Luz Reflejada

### Identificación de Minerales Opacos mediante Microscopia de Luz Reflejada

El objetivo fundamental al examinar una muestra pulida con el microscopio de luz reflejada es la identificación de las fases minerales presentes. Para ello se deben estudiar las propiedades que exhiben dichas fases. Las propiedades cualitativas de interés en la identificación de minerales opacos mediante la microscopia de luz reflejada se pueden agrupar en:

- \* Propiedades ópticas s.s.
- \* Propiedades relacionadas con la dureza.
- \* Propiedades relacionadas con la morfología de las fases.

### Propiedades Ópticas

Las observaciones se realizan con:

- \* Un solo polarizador (luz plano-polarizada),
- \* Con polarizador y analizador cruzados.

En ambos casos la observación puede hacerse en aire o en aceite de inmersión usando los objetivos adecuados.

El color, la reflectividad, la birreflectividad y el pleocroísmo de reflexión se observan usando luz polarizada plana y la anisotropía, colores de polarización y las reflexiones



internas con nicoles cruzados.

Color: Hay un número muy pequeño de opacos que al microscopio aparecen con colores fuertes y distintivos. Por ejemplo, covellina, bornita, oro. La mayoría aparecen como débilmente coloreados y pueden parecer al principiante como blancos o grises.

Reflectividad: Es la cantidad de luz que, al incidir sobre la superficie pulida de un mineral, se refleja hacia el observador.

Aunque el ojo humano no puede medir la reflectividad se puede establecer una serie de comparación estándar visual (por ejemplo: mgt R% = 20, py R= 55, gn R% = 43, Q =5%) con la cual se pueden ir contrastando y se puede estimar la reflectividad de los desconocidos.

Birreflectividad y Pleocroísmo de reflexión: Se llama birreflectividad al cambio de reflectividad cuando se gira una sección en el microscopio y al cambio del color se llama pleocroísmo de reflexión. La intensidad de estos cambios se anota usando los términos (muy débil, débil, moderado, fuerte y muy fuerte) y en el caso del pleocroísmo de reflexión se anotan los colores observados en las orientaciones diferentes.

Ejemplos de minerales con birreflectividad y/o pleocroísmo de reflexión fuerte: son el grafito, molibdenita, covellina; moderada: la marcasita, hematites, niquelina, cubanita, pirrotina; débil, la ilmenita, enargita, arsenopirita.

Anisotropía: Los cristales cúbicos, isótropos, entre nicoles cruzados permanecen oscuros (extinción) durante el giro de la platina, o si no están totalmente oscuros no cambia el color. Los de otros sistemas se comportan como anisótropos (a excepción de las secciones basales del tetragonal y hexagonal) mostrando variaciones en el brillo o el color anisotrópico, o ambos. Pueden variar en función de la orientación óptica de la sección pulida, dando cuatro máximos y cuatro mínimos. (estibnita, pirrotina.) También se anota como muy débil, débil, moderada, fuerte, muy fuerte.

Reflexiones internas: Cuando se observan al microscopio de reflexión minerales de opacidad intermedia la luz penetra en ellos y se refleja a partir de fracturas, huecos, exfoliaciones, etc. del interior del cristal dando zonas de difusión de la luz que reciben el nombre de reflexiones internas. La observación se favorece con nicoles cruzados y en aceite y usando objetivos de mayor aumento, en los bordes de grano o en pequeños granos. Ejemplos. La casiterita da color amarillo o marrón amarillento, mientras que el cinabrio da color rojo rubí.



### Propiedades relacionadas con la dureza

La observación de la dureza de rayado y dureza de pulido (relieve) de los minerales utilizando un microscopio estándar se puede usar como una propiedad que puede ser de ayuda en la identificación mineral, por comparación relativa con la dureza de fases adyacentes frecuentes y abundantes.

Ejemplos., menos duro, igual de duro o más duro que galena, calcopirita o pirita que son minerales bastante frecuentes en una asociación mineral.

### Propiedades relacionadas con la morfología de las fases.

#### Formas:

Euhédricos: por ejemplo: py, apy, mgt, hm, wolf

Anhédricos: por ejemplo: co, bn, thd

#### Hábitos:

Acicular: hm, stibn, jamesonita, rutilo

Tabular: cv, mo, grafito, hm

Rómbico: apy, mc

Esqueletal: mgt, gn

Isométrico: Cúbico: gn, py

Octaédrico: crm, espinela, py, mgt, gn

Piritoedro: py, bv

### Exfoliación y partición

Se presenta como uno o más conjuntos de fracturas paralelas. Si la exfoliación es cúbica aparecen tres planos que dan los llamados “pits” (por ejemplo: gn o en mgt, pnt, gersdorffita); una exfoliación prismática puede dar formas triangulares o rectangulares; una exfoliación pinacoidal dará conjuntos paralelos.

Donde mejor se puede observar es en los bordes de grano y a veces se ven muy claras como consecuencia de la alteración o ataque artificial de la muestra (gn –cerusita, cp – cv).

### Maclas

Se pueden observar los tres tipos de maclas: de crecimiento (polisintéticas), de inversión y de deformación.

En los isótropos no se ven, a no ser que se ataque la superficie o se vean en la etapa de pre pulido. Sin embargo, en los anisótropos se ven bien. Algunas maclas son determinativas (ej., las de crecimiento de la marcasita, las laminares de deformación de la hm y cp, las de inversión de la estannita y acantita.

Lista de Minerales reconocidos en clase de forma macroscópica y microscópica:

Índice alfabético	(abreviatura)
-Bornita	(bn)
-Calcosina (o Calcocita)	(cc)



-Calcopirita	(cp)
-Covelina	(cv)
-Cuprita	(cup)
-Esfalerita (o Blenda)	(sf)
-Estibina (o Antimonita)	(stbn)
-Galena	(gn)
-Grafito	(C)
-Hematita (o Hematites)	(hm)
-Ilmenita	(ilm)
-Magnetita	(mt)
-Molibdenita	(mo)
-Niquelina	(nq)
-Oro/electrum	(Au)
-Pirita	(py)
-Wolframita	(wolf)

### **Reconocimiento e identificación de minerales con Fichas de Colores**

Es un procedimiento de observación macroscópica y microscópica, relativamente empleado para en reconocimiento rápido de minerales

1. Seleccionar los minerales por su color o reunirlos en grupos por observación directa. De acuerdo a la práctica, esta es la mejor forma de iniciar el proceso de identificación. Si bien el color no es una propiedad determinante, pero en este caso resulta conveniente su utilización.
2. Separar las fichas guías de cada mineral por su color natural.
3. Con las fichas guías y los preparados pulidos, por observación microscópica reconocer los minerales siguiendo la marcha general de la observación y teniendo en cuenta las *Criterios claves de identificación* por cada grupo de minerales.

#### Recomendaciones

- a. La observación microscópica debe efectuarse colocando uno tras otro todos los objetivos, de menor a mayor aumento.
- b. Girar la platina, con el analizador diferenciar minerales isótropos de los anisótropos.
- c. Los colores de anisotropía y pleocroísmo son típicos en ciertos minerales y deben ser considerados para la identificación del mineral opaco correspondiente.



El grupo de los minerales de mena abarca un número bastante amplio y para su reconocimiento en la práctica requiere de mucho tiempo. Por ellos se aplica la técnica de fichas de colores, considerada con ventajas para el reconocimiento rápido, sencilla, fácil manejo pues se trata de identificar mediante claves de diagnóstico. El listado de minerales es acompañado por las fichas guías correspondientes cada mineral. -

### **FICHAS DE DATOS**

<b>BLANCOS</b>	<b>Galena</b>	<b>Marcasita</b>	<b>Molibdenita</b>	<b>Bismutina</b>	<b>Casiterita</b>
Comp. Química	PbS	FeS <sub>2</sub>	MOS <sub>2</sub>	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>
Sist. Cristalino	Cubico	Ortorr	Hexagonal	Ortorr.	Tetragonal
Color	Blanco	Blanco-crema	Blanco	Blanco a veces tonos azulados	Blanco- gris débilmente coloreado
Pleocroísmo	No presenta	Débil a fuerte	Muy fuerte	Si	Débil a moderado
Dureza	Media a baja	Alta	Baja	Baja	Dura
Isotr/Anisotr	Isótropo	Fuertemente anisótropo	Fuerte anisotropía	Fuerte anisotropía	Moderada
Reflexiones Internas	No presenta	No presenta	No presenta	-	Gris a gris oscuro
Reflectividad	Media	Alta	-	Alta	Baja

<b>AMARILLOS</b>	<b>Pirita</b>	<b>Calcopirita</b>	<b>Pirrotina</b>	<b>Oro</b>
Comp. Química	FeS <sub>2</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	SFe	Au
Sistema Cristalino	Cubico	Tetragonal	Hexagonal	Cubico
Color	Blanco, blanco amarillento	Amarillo brillando a amarillo verdoso	Crema con tintes cafes rojizos débiles	Amarillo dorado
Pleocroísmo	No presenta	Débil	En aceite	-
Dureza	Alta	Media	Alta	Baja
Isotr/Anisotr	Isótropo	Débil anisótropo	Muy fuerte anisotropía	Isotropo



Reflexiones Internas	No presenta	No presenta	No presenta	-
Reflectividad	alta	-	-	Fuerte

AZULES	Covelina	Calcosina
Comp. Química	CuS	Cu <sub>2</sub> S
Sistema Cristalino	Hexagonal	Rómbica – Cubica
Color	Azul intenso a azul claro	Blanco con tonos azulados
Pleocroísmo/	Alto	Medio
Dureza	Baja	-
Isotr/Anisotr	Anisotropía naranjas	Anisotropía débil, verde esmeralda a rosada
Reflexiones Internas	No presenta	-
Reflectividad	Baja	Media

GRISES	Grafito	Hem. Especular	Magnetita	Blenda	Goethita
Comp. Química	C	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	ZnS	FeOOH
Sistema Cristalino	Hexagonal	Trigonal	Isométrico	Cubico	Monoclínico
Color	Gris claro a veces con un tinte anaranjado	Blanco grisáceo con tintes azules	Gris con tinte marrón	Gris	Gris con tinte azulado
Pleocroísmo	Muy fuerte	Débil	No presenta	No presenta	Débil
Dureza	-	-	Alta	Media	Alta
Isotr/Anisotr	Anisotropía muy fuerte	Anisotropía muy clara	Isótropo	Isótropo	Anisótropo
Reflexiones Internas	No presenta	Rojas oscuras	Ausente	Muy frecuentes	Muy abundantes pardo rojizo
Reflectividad	Baja	Moderada	Si	Baja	Baja



ROSADOS	Bornita	Niquelina
Comp. Química	$Cu_5FeS_4$	AsNi
Sist. Cristalino	Tetragonal	Hexagonal
Color	Rosado oscuro con tintes violetas y azules	Blanco con tintes rosados
Pleocroísmo/		Blanco rosado a marrón rosado oscuro
Dureza	-	Media
Isotr/Anisotr	Anisotropía débil	Anisotropía amarillo, verde grisáceo, azul violeta a gris azulado
Reflexiones Internas	-	-
Reflectividad	Baja	Alta

### FICHAS DE CARACTERES: RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN POR COLORES

#### AMARILLOS

##### Oro

- Sistema Cristalino: Cubico.
- Composición Química: Au.
- Color: Amarillo dorado.
- Reflectividad : Muy alta
- Dureza: Baja. Dureza de Pulido Blanda (2.5-3): >estibina, <pirita, <calcopirita
- Isotropía/Anisotropía: Isótropo.
- Pulido: Muy bueno.
- Criterios claves de identificación: El color amarillo dorado, la reflectividad extremadamente fuerte y la baja dureza son característicos. Se encuentra como granos aislados y venillas en muchos sulfuros (especialmente en pirita y arsenopirita).
- Características diagnosticas: color, tamaño de los granos muy pequeños y la reflectividad.



## Pirrotina

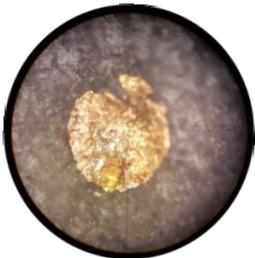
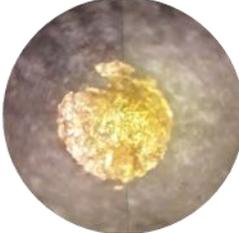
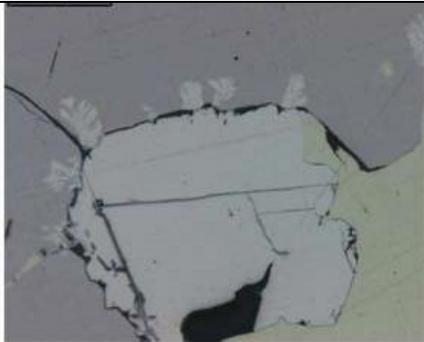
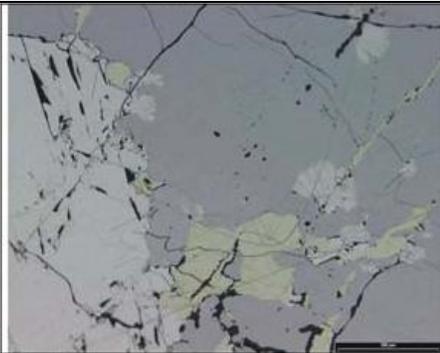
- Sistema Cristalino: Hexagonal.
- Composición Química:  $SFe$
- Color: crema con tintes café rojizos débiles.
- Birreflectividad / Pleocroísmo: Distintivo. Café crema en secciones longitudinales y café rojizo en secciones transversales.
- Anisotropía (nicoses cruzados): Muy fuerte. Los colores varían entre gris amarillento, castaño rojizo, verde grisáceo y azul grisáceo en secciones basales isótropas. La intensidad depende de la orientación
- Reflectividad: Alta.
- Formas y Texturas: A veces es euhedral y generalmente masas granosas. La mezcla de pirrotina, pirita y marcasita por alteraciones supergénico puede originar texturas concéntricas en forma de ojo de pollo. A menudo sufre reemplazamiento.
- Criterios claves de identificación: Se distingue por su color café claro, su fuerte anisotropismo, su pleocroísmo (en aceite) y su dureza. Se diferencia de la pentlandita.
- Características diagnosticas: color y anisotropía.

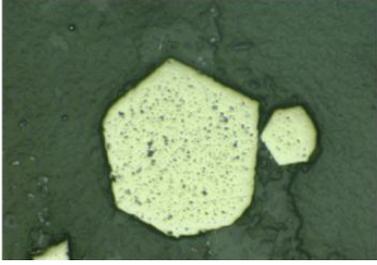
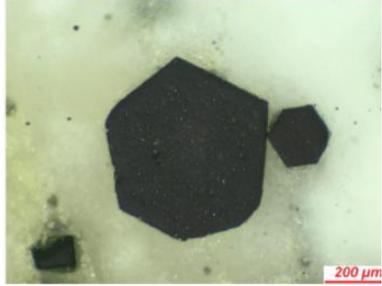
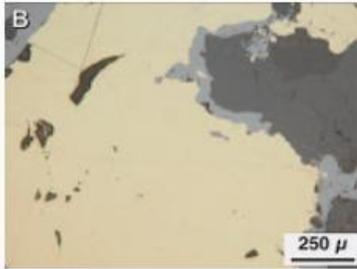
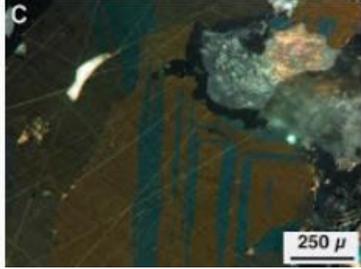
## Pirita

- Sistema Cristalino: Cúbico.
- Composición Química:  $FeS_2$
- Color: blanco, blanco amarillento.
- Reflectividad: Alta.
- Pleocroísmo/birreflectividad: No presenta.
- Dureza: Alta (6). (>arsenopirita, »marcasita, hematites, < casiterita)
- Isotropía/Anisotropía: Isótropo, aunque puede ser débilmente anisótropo.
- Reflexiones internas: No presenta.
- Pulido: Se pule con dificultad.
- Criterios claves de identificación : Color blanco amarillento, alta reflectividad y Elevada.
- Características diagnosticas: color, reflectividad y dureza alta, tamaño euhedro y muy común como cubos idiomorfos. Aparece picada al ser pulida.

## Calcopirita

- Sistema Cristalino: Tetragonal.
- Composición Química:  $\text{CuFeS}_2$
- Color: Amarillo brillante a amarillo verdoso.
- Reflectividad: De media a alta.
- Pleocroísmo/birreflectividad: generalmente débil, pero puede llegar a ser marcado.
- Dureza: media (> galena, < esfalerita)
- Isotropía/Anisotropía: Débil, en general, débilmente anisótropo; azul grisácea, amarillo verdoso. Con el aumento de hierro (Fe) aumenta la anisotropía.
- Reflexiones internas: No presenta.
- Pulido: Muy bueno.
- Forma y Textura: Generalmente masiva. Maclado común a veces polisintético que varían de muy finas a gruesas e irregularmente distribuidas o pertenecientes a diferentes sistemas.
- Criterios claves de identificación: color característico, en algunos casos puede confundirse con el oro (este es más blando y más reflectivo).
- Características diagnosticas: color característico. Tamaños irregulares en venas y generalmente alotriomorfo. Puede presentar maclado polisintético; puede aparecer como gotas dentro de esfalerita y estannita.

Mineral	MICROFOTOGRAFIAS	
Oro		
Pirrotina		

Pirita		
Calcopirita		

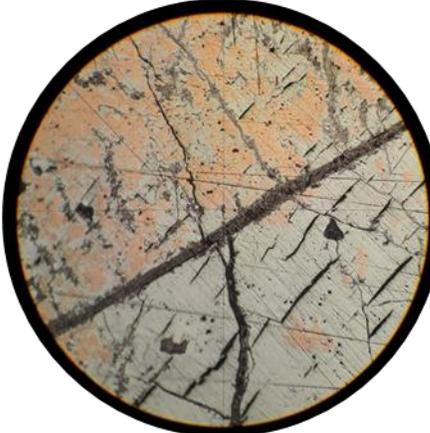
## ROSADOS

### Bornita

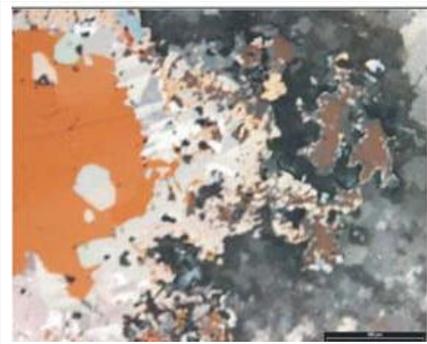
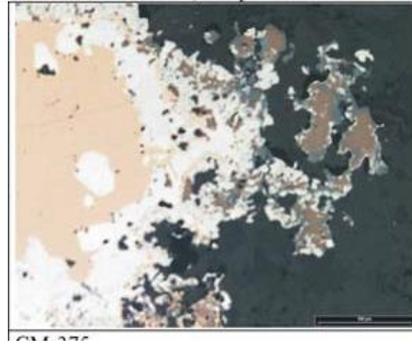
- Sistemas Cristalinos: Isométrico y Tetragonal. Sistema Tetragonal por debajo de 228°C e Isométrico por encima de dicha temperatura.
- Composición química:  $Cu_5FeS_4$ . La composición en % Cu 63,3 %, Fe 11,2 %, S 25,5 %. Las proporciones de Cu y S en la fórmula pueden variar desde 3 y 3 hasta 9 y 6.
- Color: rosado castaño o pardo, pasando a rojizo. El color en aire es de un rosado oscuro, con tintes violetas y azules.
- Reflectividad: De media a baja, menor que la tetraedrita / tennantita y mayor que la esfalerita. Se observa mejor en los bordes de los granos y en las maclas.
- Dureza: Baja.
- Isotropía/Anisotropía: Débil pero variable. Puede distinguirse, especialmente en aceite. Bajo polarizadores paralelos es café a gris o rosado oscuro. Los agregados de grano muy fino pueden aparecer isótropos.
- Pulido: Bueno.
- Forma y Textura: Generalmente en cristales granosos o en agregados granulares que presentan maclas polisintéticas. Los de grano fino generalmente no presentan macla.
- Clivaje: A veces visible en dos direcciones (100), (111).
- Criterios claves de identificación: Color característico y casi único. Se puede confundir con la pirrotina, pero ésta es más dura y brillante. Las maclas polisintéticas y la pátina púrpura ayudan al diagnóstico.
- Características diagnosticas: Reflectividad y color.

### Niquelina

- Sistemas Cristalinos: Hexagonal
  - Composición Química: AsNi
  - Color: Blanco con tintes rosados a rosados castaños.
  - Pleocroísmo: Blanco rosado a marrón rosado oscuro.
  - Dureza: Mediana. (Media a calcopirita).
  - Isotropía/Anisotropía: amarillo, verde grisáceo, azul violeta a gris azulado.
  - Dureza de Pulido Dura (5 - 5.5): >> oro.
  - Minerales Asociados: minerales de Ag y Bi, allargentum, breithauptita, Oro, maucherita, molibdenita, pechblenda, rammelsbergita, eskuterudita, ulmmanita, uraninita.
  - Reflectividad: Muy Alta.
  - Forma y Textura: a veces idiomorfas. Generalmente en agregados sub-paralelos en agregados concéntricos (columnares y radiales).
  - Criterios clave de identificación: La alta reflectividad, el color naranja – marrón y la anisotropía en tintes azul-verde son característicos.
- Se encuentra como cristales aislados subhédricos y euhédricos, con agregados Anhédricos, como bandas concéntricas y como Intercrecimiento complejos con los minerales asociados.
- Características diagnosticas: color y paragénesis.

MINERAL	MICROFOTOGRAFIA	
Bornita		

NiquelinaA



## AZULES

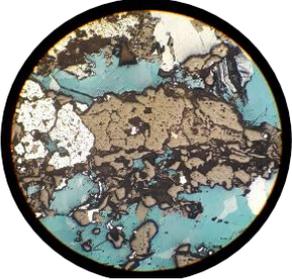
### Covelina

- Sistema Cristalino: Hexagonal
- Composición Química: CuS
- Color: A simple vista azul índigo a azul oscuro, varia de azul índigo a blanco azulado, o de azul intenso a azul claro.
- Reflectividad: De moderada a baja (14%).
- Pleocroísmo/birreflectividad: extraordinariamente alto.
- Dureza: Baja. 1,5-2. (>> argentita; < galena, calcopirita, calcosina).
- Isotropía/Anisotropía: anisotropía extrema en colores naranjas muy características. O extremadamente alta, 4 extinciones, fuertes anaranjadas a castaño rojizo.
- Reflexiones internas: No presenta.
- Criterios claves de identificación: color, pleocroísmo y anisotropía. Suele ir asociado con calcosina y a veces reemplazando a calcopirita.
- Características diagnosticas: color y anisotropía. Típico en agregados de cristales aciculares.

### Calcosina

- Sistema Cristalino: Por debajo de 103° C, es rómbica y por encima es cubica.
- Composición Química: Cu<sub>2</sub>S
- Color: Blanco con tonos azulados.
- Dureza: Baja. 2.5-3.
- Reflectividad: Media.
- Isotropía/ Anisotropía: Anisotropía débil a notable, verde esmeralda a rosada.
- Extinción: tiene una extinción recta

- Pulido: bueno, presenta rayas azuladas debido al pulido.
- Forma y Textura: hipogénica generalmente de grano gruesa y la de superficie es de grano fina cuando es de rápida cristalización es de grano fina.
- Clivaje: Tiene un clivaje a veces visible en dos direcciones (100) (111).
- Criterios claves de identificación: si se ataca con ácido se recubre de una pátina azul.
- Características diagnosticas: El color y la anisotropía.

MINERAL	MICROFOTOGRAFIA	
Covelina		
Calcosina		

## GRISES

### Blenda o Esfalerita

- Sistema Cristalino: Cúbico.
- Composición Química: ZnS
- Color: Gris. Gris que a veces tiende a castaño o a pardo.
- Reflectividad: baja (17%).
- Pleocroísmo/birreflectividad: No presenta.
- Dureza: Mediana. Media (>calcopirita, tetraedrita, estannita, enargita; <pirrotina, magnetita, pirita).
- Isotropía/Anisotropía: Isótropo.
- Reflexiones internas: Muy frecuentes, de color marrón rojizo en variedades ricas en Fe, marrón amarillento en variedades pobres en Fe. O también siempre visibles, especialmente en especies mal pulidas, las especies ricas en hierro tienden a castaño rojizo, en las ricas de zinc, al amarillo castaño.



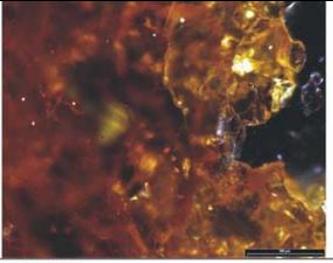
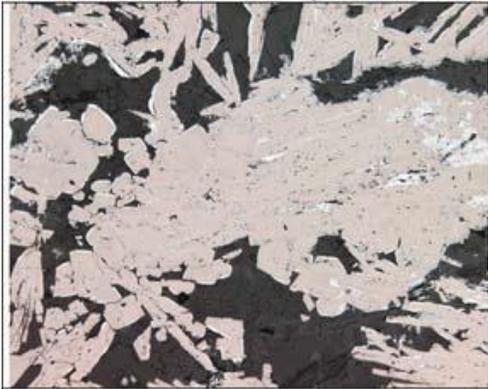
- Pulido: En las especies de granos finos toman un buen pulido, las gruesas son difíciles de pulir.
- Forma y Textura: De grano grueso a fino. Maclado y textura zonal se revelan por corrosión, Intercrecimiento con wurzita y gráficos como granos irregulares o en forma de estrella (exsolución) en calcopirita y cubanita. Pequeñas inclusiones líquidas pueden ser importantes para la determinación de la temperatura de formación.
- Clivaje: Paralelo; generalmente visible.
- Criterios claves de identificación: color y forma del grano.
- Características Diagnósticas: Baja reflectividad y reflexiones internas. Se distingue de la casiterita en que ésta es más dura y anisótropa y presenta peor pulido; se distingue de la magnetita en que ésta tiene un tinte marrón y no presenta reflexiones internas. Maclado por ataque, puede presentar zonado. Son comunes las texturas de exsolución de esfalerita en otros minerales (p. ej., calcopirita) y viceversa.

## Magnetita

- Sistema Cristalino: Isométrico. (Puede ser octaédrico o a veces dodecaédrico).
- Composición Química:  $Fe_3O_4$ . Composición % Fe 72,4 %, O 27,6 %. El hierro puede ser reemplazado por Al, Cr, Mg, Mn, Ti, V o Zn. Forma una solución sólida hasta la ulvoespinela.
- Color: Gris con tinte marrón. Ogris de tonos variables.
- Reflectividad: Baja (20%). (Baja menor que la Hematita).
- Pleocroísmo/birreflectividad: no presenta.
- Dureza: alta ( $\gg$  pirrotina,  $<$  ilmenita,  $\ll$  hematites).
- Isotropía/Anisotropía: Isótropo. A veces tiene anomalías.
- Reflexiones internas: no presenta.
- Pulido: Muy bueno.
- Forma y Textura: Generalmente anhedral o cristales equidimensionales idiomorfos (octaédricos) a alotriomorfo. A veces puede presentar exsoluciones lamelares de pleonasta o ilmenita. Es común que aparezca pseudomorfizada por hematites a lo largo de planos de exfoliación (martitización). O también en cristales tabulares (pseudomorfos de hematites) y en masas granosas maclas y sonalidad comunes.
- Criterios claves de identificación: dureza, reflectividad, isotropía y ausencia de reflexiones internas. Puede confundirse con esfalerita (más blanda y suele presentar reflexiones internas), con cromita (si ésta no presenta reflexiones internas son difíciles de distinguir entre sí) y con ilmenita (anisótropa).
- Características Diagnósticas: Isotropía, reflejos internos.

## Enargita

- Sistema Cristalino Rómbico
- Composición Química:  $Cu_3SbS_4$ .
- Color: El color va de un gris rosado a rosado pardo claro o café rosado pálido. Con bornita blanco rosado, con calcosina, café rosado, con galena, café grisáceo, con tenantita, rosado oscuro.
- Reflectividad: Moderada a Media. 28%.
- Pleocroísmo/birreflectividad: no presenta.
- Dureza: Baja.
- Isotropía/Anisotropía: Fuerte, en tonos bien coloreados que van de azul –gris, café amarillo, anaranjado verdoso, rojizo, anaranjado, verde azulado.
- Reflexiones internas: puede tener rojos profundos. (raros)
- Birreflectividad: Notoria.
- Pulido: Bueno.
- Clivaje: Casi siempre visible en una dirección.
- Forma y Textura: cristales prismáticos o agregados anhedrales. Generalmente no presenta maclas, frecuentemente estructura zonal.
- Criterios claves de identificación: Color y Anisotropía.
- Características diagnosticas: Puede ser reemplazada por bornita, galena, calcosina, covellina, pirita. Gradualmente se altera a tenantita.

MINERALES	MICROFOTOGRAFIAS	
Blenda		
Magnetita		



## BLANCO

### Galena

- Sistema Cristalino: Cúbico
- Composición Química: PbS
- Color: Blanco.
- Reflectividad: De media a alta. (43%).
- Pleocroísmo/birreflectividad: No presenta.
- Dureza: De media a baja. 2.5. (>>argentita, >covellina; = calcosina; <bournonita, bornita). Baja < calcopirita.
- Isotropía/Anisotropía: Isótropo. A veces hay una débil anisotropía.
- Reflexiones internas: No presenta.
- Pulido: Bueno, son comunes los agujeros triangulares que siguen las líneas de clivaje.
- Formas y Texturas: A veces cristales euhedrales, otras masivas: de grano grueso a muy fino. A veces se presentan intercrecidas con otros minerales o formando Intercrecimiento smirmequiticos. Es fácilmente reemplazada por otros minerales.
- Criterios claves de identificación: Marcas triangulares de pulido, reflectividad relativamente alta. Isotropía.
- Características diagnosticas: Color, baja dureza, alta reflectividad, clivaje triángulos pits. Y también exfoliación cúbica perfecta, desarrolla marcas triangulares características debidas al pulido.

### Molibdenita

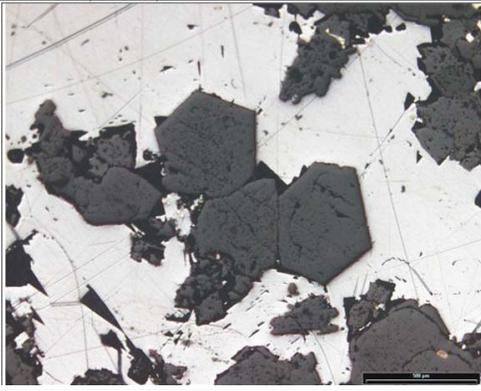
- Sistema Cristalino: Hexagonal
- Composición Química:  $MoS_2$ .
- Color: Blanco a veces gris azulado. En aire: blanco
- Birreflectividad / Pleocroísmo Muy fuerte y característico. En secciones paralelas al eje longitudinal es de color blanco y en secciones perpendiculares es gris oscuro con tintes azulados.
- Isotropía/Anisotropía: Muy fuerte.
- Anisotropía (nicoles cruzados): Muy fuerte. Con los polarizadores casi paralelos es de color azul oscuro, mientras que con ellos a  $45^\circ$  es blanco con tintes rosáceos.
- Dureza: Baja.
- Reflectividad: Moderada.
- Pulido: Bueno.
- Reflexiones internas: No presenta% de reflectividad (en aire) 15,0 a 44,9.
- Formas y Texturas: Desarrolla principalmente maclas y agregados laminares con clivaje perfecto.



- Criterios claves de identificación: Se reconoce por su baja dureza, buen clivaje, textura laminar, fuerte pleocroísmo y color bajo polarizadores cruzados.
- Características diagnosticas: Poca dureza, clivaje, pleocroísmo y anisotropía.

## Hematita

- Sistema Cristalino: Hexagonal. (Trigonal: escalenoedro).
- Composición Química:  $Fe_2O_3$ . Composición % Fe 70 %, O 30 %. Puede contener pequeñas cantidades de Ti o Mn.
- Color: Blanco. En el aire: blanco grisáceo con tintes azules. En aceite: gris azulado de menos intensidad. El color varía en presencia de otros minerales.
- Dureza: Alta.
- Birreflectividad / pleocroísmo : Débil
- Isotropía/Anisotropía: fuerte, gris amarillento, pardas o rojizas.
- Anisotropía (nicoses cruzados): Muy clara, especialmente en los bordes de las maclas, donde se observan colores azules grisáceos a amarillos grisáceos. Presenta extinción súbita.
- Reflexiones internas: Rojas oscuras, a menudo se observan mejor en especímenes poco pulidos. Rojas profundos.
- Reflectividad: Alta.
- Pulido: Bueno.
- Formas y Texturas: Usualmente anhedral, tabular en láminas, fibras, agujas. Pseudomorficas de magnetita. Maclas lamelares variadas. Es decir que son comunes las texturas laminares y maclas, y las láminas de exsolución en ilmenita. Puede reemplazar a la magnetita a lo largo de planos de clivaje, originando martita.
- Criterios claves de identificación: Se distingue por su moderada reflectividad y su anisotropía. También por ser difícil de pulir y presentar reflexiones internas rojizas.
- Características diagnosticas: Reflejos internos, Anisotropía y color.

MINERALES	MICROFOTOGRAFIAS	
Galena		
Molibdenita		



## GUIA DE PRACTICOS

<b>CONTENIDOS</b>	<b>CRISTALOGRAFÍA MORFOLOGICA</b>
<b>T.P. N°1</b>	TEMAS: Simetría Cristalina. Elementos de Simetría. Operaciones De Simetría.
<b>T.P. N°2</b>	TEMAS: Relaciones Axiales. Ejes Cristalográficos. Notación De Los Elementos Geométricos. Índices De Miller. Notaciones De Herman Mauguin. Formas Holoédricas, Hemiédricas y Hemimórficas.
<b>T.P. N°3</b>	TEMAS: Medición de Ángulos Interfaciales. Goniómetros
<b>T.P. N°4</b>	TEMAS Proyecciones Cristalográficas. Propiedades y Uso
<b>CONTENIDOS</b>	<b>ÓPTICA MINERAL</b>
<b>T.P. N°5</b>	TEMAS: El Microscopio De Polarización. Partes. Manejo Y Usos. Reconocimiento De Minerales Transparentes Y Opacos, Isótropos Y Anisótropos.
<b>T.P. N°6</b>	TEMAS: Observación Ortoscópica Sin Analizador. Propiedades Ópticas De Los Minerales Transparentes Anisótropos. Color, Pleocroísmo, Forma, Hábito, Alteraciones e Inclusiones.
<b>T.P. N°7</b>	TEMAS: Determinación de Relieve e Índice de Refracción. Ejercitación Practica en minerales de cuarzo y micas (muscovita, sericita, biotita, clorita, flogopita).
<b>T.P. N°8</b>	TEMAS: Determinación del Color de Interferencia y la Birrefringencia Ejercitación Practica
<b>T.P. N°9</b>	TEMAS: Extinción. Angulo de Extinción Ejercitación Practica
<b>T.P. N°10</b>	TEMAS Identificación y determinación del signo de elongación. Ejercitación Practica
<b>T.P. N°11</b>	TEMAS: Identificación de feldespatos potásicos y calco sódicos. Maclas. Ejercitación Practica
<b>T.P. N°12</b>	TEMAS Figuras de interferencias. Determinación del signo óptico. Ejercitación Practica
<b>T.P. N° 13</b>	TEMAS: Calcografía. Observaciones con luz reflejada. Reconocimiento de minerales de mena: sulfuros y óxidos. Ejercitación Practica



## **RESOLUCIÓN PRÁCTICA N° 1**

**TEMAS: SIMETRÍA CRISTALINA.** Formas. Elementos de Simetría. Operaciones de simetrías

**Objetivo general** Clasificar diferentes formas cristalinas en Clases de simetría y Sistemas cristalográficos, mediante el análisis de elementos de simetría y ejes cristalográficos.

### **Objetivos específicos**

- Reconocer redes planas
- Identificar los elementos de simetría.
- Posicionar los ejes cristalográficos.
- Clasificar las diferentes formas, según su sistemática Clases y Sistemas.

### **Conocimientos previos recomendados:**

Capítulo 2.- Propiedades de la materia. Redes cristalinas. Fila. Redes planas. Celda unidad. Redes de Bravais.

Capítulo 3. Leyes de la cristalografía. Simetría cristalina. Formas cristalinas. Formas Holoédricas, Hemiédricas. Ejes cristalográficos

### **Sistema de habilidades:**

- Desarrolle la visión bidimensional y tridimensional.
- Oriente espacial de forma cristalina
- Identifique y clasifique según su sistemática: Sistema- clase y forma.
- Dibuje vistas en planta y perfil

## **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

- Seleccione tres modelos cristalinos de cartón.
- Reconozca en el poliedro, las redes planas. Dibuje una vista en planta
- Identifique elementos de simetría en la red plana, y operaciones determine la notación Herman Mauguin.
- Identifique sus ejes cristalográficos y oriente en el espacio cada forma cristalina dada.
- Clasifique la forma analizada de acuerdo a su sistemática: Nombre de la Sistema Cristalográfico- Clase Cristalina - Forma Cristalina.
- Dibuje en sus 3 dimensiones, según los ejes cristalográficos.
- Identifique holoedrias y/o meroedrias
- Caracterice la forma cristalina según el número y geometría de las caras corrobore resultados con ayuda del libro.

## **DESARROLLO N° 1**



<b>Red Bidimensional</b>	
Indique los valores de parámetros y ángulos:	Dibujo de la red plana, indique elementos de simetría.
Nombre la red plana:	Notación Herman Mauguin

<b>Red Tridimensional</b>	
Simetría cristalina:	Dibujo en 3D según ejes cristalográficos
Nombre del Grupo cristalino	
Sistema cristalino:	
Clase cristalina:	
Nombre de la Forma:	
Caracterice la forma cristalina:	Notación Herman Mauguin



## **RESOLUCIÓN PRÁCTICA N° 2**

**TEMAS: RELACIONES AXIALES. EJES CRISTALOGRÁFICOS.** Notación de Los Elementos Geométricos de La Red Cristalina. Índices de Miller. Herman Mauguin. Holoédricas y Meroedricas

### **Objetivo general**

Reconocer las relaciones axiales y angulares de los cristales, la notación cristalográfica de sus caras y la simbología de Herman Mauguin

### **Objetivos específicos**

- ✓ Determinar combinaciones de elementos de simetría y operaciones de simetría.
- ✓ Orientar correctamente las formas cristalinas, con referencia a un sistema de ejes coordenados.
- ✓ Analizar los índices de Miller de las caras para las formas cristalinas.
- ✓ Indicar la simbología Hermman Mauguin, y la mínima simetría correspondiente al sistema cristalino
- ✓ Identificar las formas holoédricas y meroedricas

### **Conocimientos previos recomendados**

Capítulo 3. Formas abiertas y cerradas. Ejes cristalográficos. Ley de Racionalidad de los Índices. Simbología Herman Mauguin. Simetría mínima. Formas holoédricas, hemiédricas y hemimórficas. Relaciones axiales.

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Posicionar redes cristalinas y emplee notación específica para designar las caras de los cristales.

## **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

1. Seleccione tres modelos cristalinos de cartón.
2. Identifique sus elementos de simetría, ejes cristalográficos y oriente en el espacio cada forma cristalina dada.
3. En base a la posición de los ejes cristalográficos con respecto de las caras en el cristal y las características de la cruz axial, asigne su notación empleando la notación de Weiss e Índices de Miller.
4. Determine a que clase cristalina pertenece y exprese la simbología de Herman Mauguin, el sistema cristalino y forma holoédrica o meroedrica





### **RESOLUCIÓN PRÁCTICA N°3**

**TEMAS: MEDICIÓN DE ÁNGULOS INTERFACIALES.** Goniómetros.

**Objetivo general:** Medir correctamente ángulos interfaciales con goniómetros.

**Objetivos específicos:**

- Medir correctamente ángulos diedros, empleando instrumental específico
- Determinar la simetría cristalina, la clase cristalina y el sistema cristalino.
- Reconocer los índices de Miller

**Conocimientos previos recomendados**

Capítulo 4. Ley de Racionalidad de los Índices. Medición de Ángulos. Ley de Steno. Goniómetros. Representación de cristales por proyección cristalográfica.

**Sistema de habilidades:**

- ✓ Mida ángulos usando goniómetro de contacto
- ✓ Maneje correctamente objetos tridimensionales en el plano bidimensional.

### PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

En el proceso de proyección de cristales de los modelos cristalográficos es de utilidad la medida de sus ángulos interfaciales con goniómetro de contacto, resulta útil seguir la siguiente metodología descriptiva:

1. Determinar los elementos de simetría presente en las formas cristalinas seleccionadas, índices de Miller.
2. Reconocer la clase de simetría y el sistema cristalográfico en función de la simetría existente y su posición en el espacio.
3. Efectuar la medición de ángulos diedros.
4. Determinar la cantidad de formas existentes en los modelos cristalinos (formas simples o combinadas)
5. Para las formas seleccionadas escriba ejemplos de minerales.



### DESARROLLO TRABAJO PRÁCTICO N° 3

<b>Red bidimensional.</b>	
Simetría:	Dibujo en planta de red cristalina según ejes cristalográficos. Indique los elementos de simetría
Notación Índices de Miller	
Medición de ángulos diedros	Dibujo en red plana

<b>Análisis de Formas cristalinas</b>	
Nombre el sistema cristalino	Dibujo de la red tridimensional
Nombre la forma cristalina	
Nombre de la Clase cristalina	
Ejemplo de minerales	Caracterice la forma cristalina.



## **RESOLUCION PRÁCTICA N° 4**

### **TEMAS: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA. Propiedades y Uso De La Red De Wulff.**

**Objetivo general:** Realizar las proyecciones estereográficas de cristales para determinar clases cristalinas.

**Objetivos específicos:**

- Proyectar formas cristalinas en un estereograma.
- Resolver los principales problemas de proyección estereográfica, empleando red de Wulff.
- Representar en dos dimensiones: líneas, plano, ángulos empleando red de Wulff.
- Determinar de simetría cristalina y clase cristalina.

**Conocimientos previos recomendados**

Capitulo 4. Representación de cristales con proyección cristalográfica.

**Sistema de habilidades:**

- ✓ Emplee notación específica para designar las caras de los cristales.
- ✓ Ejercite el manejo de objetos tridimensionales en el plano bidimensional.
- ✓ Emplee adecuadamente la red de Wulff.

En el proceso de proyección de cristales es apropiado emplear la siguiente metodología:

1. Determinar todos los elementos de simetría en los modelos seleccionados.
2. Reconocer la clase de simetría utilizando la proyección estereográfica de los elementos de simetría.
3. Determinar los polos estereográficos.
4. Describir cada una de las formas e indicar con ejemplos de minerales Seleccione

### **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

distintas formas cristalinas

1. Ubique su posición en el espacio e identifique los elementos de simetría.
2. Dibuje en planta y en perfil según los ejes cristalográficos, marque la cara unidad con la notación índice de Miller.
3. Indique la clase cristalina, empleando la notación Hermann Maugui



**RESOLUCION PRACTICA N° 5**  
**TEMAS: MICROSCOPIO DE POLARIZACIÓN USO Y APLICACIONES**

**Objetivo general:** Utilizar el microscopio de polarización como herramienta que permite identificar y reconocer minerales transparentes y opacos, isótropos y anisótropos en cortes delgados de minerales y rocas.

**Objetivos específicos:**

- ✓ Manejar correctamente el microscopio de polarización.
- ✓ Conocer sus partes y accesorios.
- ✓ Conocer y respetar las normas de cuidado y precauciones para su uso.
- ✓ Reconocer la trayectoria de la luz y los fenómenos ópticos que se producen.

**Sistema de habilidades:**

- ✓ Comprender el comportamiento que presentan los cristales al paso de la luz como consecuencia del tipo de estructura interna que poseen.
- ✓ Emplear correctamente el microscopio de polarización.
- ✓ Encender, colocar correctamente los accesorios y saber guardar correctamente el microscopio.

**Conocimientos previos recomendados:** Capitulo 6

**Sistema de actitud:** Responsabilidad en el manejo de los instrumentos de trabajo.

**PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

1. Observar atentamente el Microscopio de Polarización e identifique sus partes, elementos y accesorios. Reconozca cada una de sus funciones.
2. Explique cómo se da la trayectoria de la luz en el microscopio y en la muestra mineral. Reconózcala en el Microscopio de Polarización, y grafique.
3. Coloque el corte delgado que se le ha asignado sobre la platina y luego mueva lentamente. Primero emplee un objetivo de poco aumento para lograr una visión más amplia, luego incremente el aumento para observar con mayor detalle la sección.
4. Dibuje las secciones observadas con y sin analizador. Anote el número de corte.
5. Defina el nombre del mineral, sistema cristalino y composición química
6. Identifique minerales:
  - Transparentes.    - Isótropos.
  - Anisótropos.      - Opacos.



### DESARROLLO ACTIVIDAD N° 5

1. Dibuje secciones de minerales transparentes y opacos.

N° de Corte:

Nombre de mineral:

Sistema Cristalino:

Composición Química:

<b>Minerales Transparentes y Opacos</b>	
<b>Sin analizador (PPL)</b>	<b>Imagen del Microscopio</b>

<b>Con Analizador (XPL)</b>	<b>Imagen del Microscopio</b>



2. Dibujo de secciones de minerales isótropos y anisótropos.

N° de Corte: Nombre de mineral:

Sistema Cristalino: Composición Química:

<b>Minerales Isótropos y Anisótropos</b>	
<b>Sin analizador (PPL)</b>	<b>Imagen del Microscopio</b>

<b>Con Analizador (XPL)</b>	<b>Imagen del Microscopio</b>



## **RESOLUCION PRACTICA N° 6**

**TEMAS: OBSERVACIONES ORTOSCOPICAS SIN ANALIZADOR:** Color, Pleocroísmo, Forma, Hábito. Reconocimiento de minerales: cuarzo y micas

**Objetivo general:** Determinar las propiedades ópticas de los minerales transparentes anisótropos mediante observación ortoscópica con luz polarizada, mediante el Microscopio de Polarización.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Reconocer el color del mineral, relacionarlo con el pleocroísmo y observar las diferentes formas, hábito, alteraciones e inclusiones.
- ✓ Mediante sus propiedades ópticas identificar minerales como cuarzo, moscovita, biotita, flogopita, sericita, clorita.

**Conocimientos previos recomendados:** Capítulo 7-8

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Comprender los fundamentos ópticos y cristalográficos del comportamiento mineral al usar luz polarizada ortoscópica.
- ✓ Reconocer las propiedades ópticas de los minerales que analiza.

### **Sistema de actitudes:**

- ✓ Responsabilidad en el manejo del instrumental de cátedra

## **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

1. Observe el corte delgado que se le ha asignado.
2. En base a las características distintivas del cuarzo, centre en la cruz del retículo un cristal que considere que sea de este mineral. Realice una descripción con las características, por observación ortoscópica sin analizador: color y pleocroísmo, forma, hábito, clivaje, alteraciones e inclusiones
3. Dibuje la sección elegida con y sin analizador.
4. Realice la misma marcha por observación ortoscópica para la ejercitación de minerales de moscovita, biotita, flogopita, sericita y clorita.



## **RESOLUCIÓN PRACTICA 7**

**TEMAS: OBSERVACIÓN ORTOSCOPICA<sub>S</sub>:** Determinación de Relieve e Índice de Refracción.

**Objetivo general:** Determinar propiedades ópticas mediante visión ortoscópica, incluyendo relieve e índice de refracción empleando el microscopio petrográfico.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Determinar el relieve de los minerales aplicando la técnica de la línea de Becke.
- ✓ Diferenciar los feldspatos de cuarzo comparando los índices de refracción.
- ✓ Diferenciar feldspatos potásicos de los calcoalcalinos.
- ✓

**Conocimientos previos recomendados:** Capítulo 8 Métodos de Determinación Mineral.

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Seleccione una sección adecuada del mineral para poder observar sus propiedades.
- ✓ Aplique de manera adecuada el método de la línea de Becke.

## PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

1. De acuerdo a las características distintivas de los feldspatos, centre con la cruz del retículo un cristal que considere que sea este mineral.
2. Realice la marcha sistemática de los feldspatos mediante observación ortoscópica, sin analizador y con analizador.
3. Controle si la sección elegida corresponde al mineral descrito. Identifique el feldspato analizado y determine su nombre.
4. Dibuje las secciones observadas sin y con analizador con su número de corte.



## **RESOLUCION PRACTICA 8**

**TEMAS: OBSERVACIÓN ORTOSCÓPICA:** Determinación del Color de Interferencia y la Birrefringencia

### **Objetivo general:**

Determinar propiedades ópticas mediante visión ortoscópica, color de Interferencia y Birrefringencia, empleando el microscopio petrográfico.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Observar Birrefringencia de calcita
- ✓ Determinar color de Interferencia
- ✓ Determinar direcciones de vibración, empleando lamina de yeso
- ✓ Determinar diferencia de paso, retardo y birrefringencia empleando la tabla de Michel Levy

**Conocimientos previos recomendados:** Capitulo 8

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Utilice la Tabla de Michel Levy.
- ✓ Analice las propiedades ópticas con luz analizada
- ✓ Emplee lámina de yeso.

## PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

1. Busque un mineral de color de interferencia uniforme gris de 1° orden y determine las direcciones de vibración del mineral, realice un dibujo.
2. Determine la diferencia de paso y la birrefringencia parcial de distintas secciones minerales mediante el empleo de la tabla de Michel Levy.
3. Investigue cuales son las características distintivas de la calcita.
4. Caracterice el mineral dentro de una muestra y dibuje.
5. Identifique e investigue los minerales epidota, apatito, turmalina, esfena. Elabore un resumen de los rasgos cristalográficos, composición química y ópticas.



## **RESOLUCION PRÁCTICA N° 9**

**TEMAS: OBSERVACIÓN ORTOSCÓPICA:** Identificación y determinación de Extinción.

### **Objetivo general:**

Determinar propiedades ópticas mediante visión ortoscópica, con analizador, especialmente extinción y elongación, empleando el microscopio petrográfico.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Determinar con nicols cruzados las propiedades de extinción, ángulo de extinción y elongación
- ✓ Aplicar el método de determinación de direcciones de vibración
- ✓ Establecer en los minerales el retardo, birrefringencia y color de interferencia
- ✓ Diferenciar anfíboles y piroxenos por observación ortoscópicas y determinar las propiedades ópticas.

**Conocimientos previos recomendados:** Capítulo 8

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Mida ángulo de extinción.
- ✓ Diferencie los minerales del grupo de anfíboles y piroxenos.
- ✓ Analice las propiedades ópticas de minerales
- ✓ Emplee láminas compensadoras.

1. Busque un mineral con características parecidas a anfíboles y piroxenos. Centre el

## **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

mineral en la cruz del retículo.

2. Realice la marcha sistemática, mediante observación ortoscópica, sin analizador y con analizador determinando las propiedades ópticas.
3. Aplique el procedimiento para determinar direcciones de vibración, ángulo de extinción y elongación.
4. Logre obtener el nombre del mineral.
5. Dibuje las secciones de mineral sin y con analizador.
6. Establezca las características diagnósticas para el reconocimiento de minerales de los grupos objeto de estudio.



**RESOLUCION PRACTICA N° 10**  
**TEMAS: OBSERVACIÓN ORTOSCÓPICA:** Identificación y determinación del Signo de Elongación.

**Objetivo general:**

Determinar propiedades ópticas mediante visión ortoscópica, con analizador, empleando el microscopio petrográfico.

**Objetivos específicos:**

- ✓ Estudiar las características distintivas e identificar todos los minerales presentes.

**Conocimientos previos recomendados:** Capítulo 8

**Sistema de habilidades:**

- ✓ Diferencie minerales típicos de ambiente metamórficos, andalucita y sillimanita.
- ✓ Reconozca minerales de ambientes ígneos.
- ✓ Destaque la cristalografía y propiedades ópticas de cordierita, olivino, turmalina.

**PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

1. Realice la marcha sistemática, mediante la observación ortoscópica sin analizador y con analizador, determinando las propiedades ópticas de sillimanita, andalucita, cordierita, olivino, turmalina
2. Identifique los minerales en base a las características diagnósticas y a su identificación
3. Establezca las relaciones paragenéticas
4. Realice la marcha con analizador mediante observación ortoscópica.
5. Integre conocimientos metodológicos sobre minerales e identifique todos los minerales presentes en el corte.



### **RESOLUCIÓN PRACTICA N° 11**

**TEMAS: OBSERVACIÓN ORTOSCÓPICA:** Identificación y determinación de feldespatos potásicos y calco sódicos. Maclas.

#### **Objetivo general**

Determinar características de los feldespatos mediante visión ortoscópica, incluyendo las maclas empleando el microscopio petrográfico.

#### **Objetivos específicos:**

- ✓ Diferenciar los feldespatos potásicos de los calcoalcalinos.
- ✓ Identificar ortoclasa, microclino, sanidina y feldespatos aplicando métodos específicos.
- ✓ Reconocer la textura típica de los feldespatos

**Conocimientos previos recomendados:** Capitulo 8

#### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Seleccione una sección adecuada del mineral para poder observar sus propiedades.
- ✓ Aplique de manera adecuada el método de la línea de Becke.

### **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

5. De acuerdo a las características distintivas de los feldespatos, centre con la cruz del retículo un cristal que considere que sea de este mineral.
6. Realice la marcha sistemática de los feldespatos mediante observación ortoscópica, sin analizador y con analizador.
7. Controle si la sección elegida corresponde al mineral descrito. Identifique el feldespato analizado y determine su nombre.
8. Dibuje las secciones observadas sin y con analizador con su número de corte.
9. Identifique los feldespatos potásicos: ortoclasa, microclino, sanidina. Determine la composición de plagioclasas calco-sódicas, aplicando el método de Michel Levy.
10. Reconozca intercrecimientos de estos minerales.



## **RESOLUCION PRACTICA N° 12**

**TEMAS OBSERVACIONES CONOSCÓPICAS:** Figuras de interferencias. Determinación del signo óptico.

### **Objetivo General**

Determinar Figuras de interferencias mediante visión conoscópica con analizador, empleando el microscopio petrográfico.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Utilización del signo óptico como elemento determinativo de minerales y para la determinación de las direcciones de vibración de la luz en los cristales y la relación con la estructura cristalina

**Conocimientos previos recomendado** Capitulo 9

### **Sistema de habilidades:**

- ✓ Analice figuras uniáxicas y biáxicas en minerales
- ✓ Estudie distintos elipsoides de minerales.

## **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

### **A. Obtención de Figuras de Interferencias**

1. Condensador incorporado y desplazado, en su corredera, al máximo hacia arriba.
2. Diafragmas de campo y de apertura abiertos al máximo.
3. objetivo de gran aumento (x40 a x50), con buenos ajustes de centrado con respecto al eje de giro de la platina.
4. Polarizador y analizador cruzados.
5. Lente de Bertrand Amici. Esta lente no es imprescindible, ya que se puede ver la figura sin ella siempre que quitemos el ocular, pero su uso es muy recomendable, ya que amplía y enfoca esta figura.
6. Compensadores. Se utilizarán para determinar el signo óptico.

### **B. Determinación del carácter uniáxico y biáxico**

1. Coloque una sección de mineral de feldespato o cuarzo, proceda a obtener la figura de interferencia, y diferencie los distintos tipos de figuras uniáxicas y biáxicas para el mineral correspondiente
2. Determine el signo óptico.



### **RESOLUCION PRACTICA N° 13**

**TEMAS: MICROSCOPIO CALCOGRAFICO. OBSERVACIONES CON LUZ REFLEJADA.** Reconocimiento de Sulfuros y Óxidos

#### **Objetivo general:**

Determinar propiedades ópticas de minerales de mena del grupo de sulfuros y óxidos mediante luz incidente reflejada

#### **Objetivos específicos:**

- ✓ Estudiar las propiedades ópticas con microscopio calcográfico.
- ✓ Determinación de minerales mediante técnica de fichas de colores: pirita, calcopirita, pirrotina, oro, galena, antimonita, molibdenita, niquelina, bornita. blenda, calcosina, covelina.

#### **Conocimientos previos recomendados:** Capitulo 10

#### **Sistema de habilidades**

- ✓ Conozca los conceptos básicos y alcances de métodos determinativos para posteriormente saber cuál o cuáles puede aplicar para la resolución de problemas.
- ✓ Analice diferencias de propiedades ópticas de minerales de mena y transparentes.

1. Observe los distintos minerales de mena, destaque los rasgos más llamativos y diferencie

#### **PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

en grupos de colores sobre los pulidos

2. Separe los minerales por colores blancos, amarillos, azules, grises y dudosos.
3. Utilice fichas de minerales y separe los pulidos según los colores, lea detenidamente las características diagnósticas.
4. De los distintos grupos separados, seleccione los minerales y observe con lupa geológica los rasgos macroscópicamente y luego microscópicamente.
5. Con ayuda de características diagnósticas escritas en las fichas de colores, determine el nombre del mineral en cuestión.
6. Obtenga un glosario de palabras claves y microfotografías de los minerales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cornelius K. *Manual de Mineralogía basado en la obra de J.D. Dana (4ª edición)*. Editorial Reverté. (2006).
- Joaquim M. Nogués *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.2), 146-148 I.S.S.N.: 1132-9157. (1996)
- Phillips, W. J *Fundamentos de Mineralogía para Geólogos* Editorial LIMUSA. México. (1982)
- Martínez Amancay N. Facultad de Ciencias Físicas, matemáticas y naturales. San Luis(2010)
- Kerr, P. F. *Mineralogía óptica*, Mc. Graw Hill Book Co. New York. (1965),
- González Bonorino, F. *Mineralogía Óptica*. Editorial EUDEBA. (1976).
- Purificación Fenoll Hach-Alí y Fernando Gervilla Linares. Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada. (2005)
- Weyl, H. *La simetría*. Princeton University Press. Ediciones de Promoción Cultural S.A. Barcelona. (1975)
- <http://jcrystal.com/steffenweber/creacion/> Poliedros en proyección, mecanismo de formación
- <http://www.olympusmicro.com/primer/techniques/polarized/polarizedreferences.html>
- <http://www.uned.es/cristamine/inicio.htm> Mineralogía y cristalografía
- <http://webmineral.com/> - Bases de datos de Cristalografía y Mineralogía
- [http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_03.html](http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_03.html)
- <http://161.116.85.21/crista/elements2D.htm> para ver los movimientos 2D
- [http://crista.pangea.org/castella/proj-estereo/proj-cares\\_es.htm](http://crista.pangea.org/castella/proj-estereo/proj-cares_es.htm)
- [http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/689/mod\\_resource/content/1/1C\\_C11812\\_A/contenidos%20en%20pdf%20para%20descargar/4.pdf](http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/689/mod_resource/content/1/1C_C11812_A/contenidos%20en%20pdf%20para%20descargar/4.pdf)
- <http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedintro.html>
- <http://www.gly.bris.ac.uk/www/teach/opmin/mins.html>
- <http://edafologia.ugr.es/optmine/indexw.h>
- [http://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/Atlas\\_de\\_Mineralogia\\_Optica/Propiedades\\_Opticas/Propiedades\\_Opticas.html](http://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Propiedades_Opticas/Propiedades_Opticas.html)
- [https://www.youtube.com/watch?v=q5X2wjdm\\_mg](https://www.youtube.com/watch?v=q5X2wjdm_mg)
- <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/mineralogiaii/images/practicos/TP%2010.pdf>
- <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/mineralogiaii/images/practicos/TP%2010>.
- <http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/mineralogia/documentos/teorias/M1-Clase-4-MACL>

