

Mineralogía I de Grado en Geología. Prácticas.

1. Introducción al microscopio de luz transmitida I: Propiedades ópticas sin analizador

Rubén Piña García. Nuria Sánchez-Pastor. Lurdes Fernández-Díaz.

Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense.
c/ José Antonio Nováis nº 2. 28040-Madrid.

rpinagar@geo.ucm.es nsanchez@geo.ucm.es lfdez@geo.ucm.es

Resumen: El reconocimiento de minerales transparentes en el microscopio óptico de luz transmitida es una herramienta imprescindible para la caracterización y el estudio de materiales geológicos, fundamentalmente rocas. El objetivo de esta práctica es introducir al alumno en el uso del microscopio óptico de transmisión, mostrándole de manera detallada las distintas partes que lo constituyen. Además, en esta primera práctica se explican aquellas propiedades ópticas de los minerales que se pueden observar sin utilizar el analizador, es decir, con un único polarizador, (hábitos, líneas de exfoliación, color, pleocroísmo, relieve, líneas de fractura, etc.) y se hace hincapié en la forma de observar y describir dichas propiedades. Para ello, se proponen una serie de láminas transparentes en las que el alumno podrá realizar observaciones sencillas que le permitirán familiarizarse con el microscopio y reconocer las propiedades ópticas mencionadas anteriormente.

Palabras clave: Microscopio óptico de transmisión. Luz transmitida. Propiedades ópticas. Forma. Color. Pleocroísmo. Relieve. Líneas de exfoliación.

EL MICROSCOPIO ÓPTICO DE LUZ TRANSMITIDA

El microscopio óptico de luz transmitida constituye una técnica básica para el estudio y caracterización de minerales y rocas. Aunque en estas prácticas, el objetivo fundamental es la identificación y reconocimiento de las principales propiedades ópticas de los silicatos más comunes, el microscopio óptico también se emplea habitualmente para, por ejemplo, determinar llevar a cabo la clasificación petrológica de las rocas (es decir, identificar el tipo de roca), establecer relaciones texturales entre minerales y definir las secuencias de cristalización de los mismos, así como determinar episodios de deformación e identificar los fenómenos de meteorización/alteración que haya podido afectar a la roca.

El microscopio óptico emplea luz polarizada. Mientras que la luz no polarizada, "normal", es aquella que vibra en todas las direcciones, la luz polarizada sólo vibra en un único plano o dirección de vibración. En el microscopio de luz transmitida que se va a

emplear, la luz vibra en la dirección N-S, perpendicularmente a su dirección de propagación. El haz de luz polarizada se transmite desde la región inferior del microscopio, donde se sitúa la fuente de iluminación, e incide perpendicularmente sobre la muestra, penetra en su interior y se transmite a través de los minerales, interaccionando con su estructura interna. Hay que tener en cuenta que en el caso de los minerales transparentes casi toda la luz penetra en el interior del cristal, mientras que en los minerales opacos, la mayor parte de la luz es reflejada (estos minerales se estudian con otra técnica microscópica denominada microscopia de luz reflejada). Tras interaccionar con la estructura interna del mineral, la luz sale del mineral, viaja a través del sistema de tubo del microscopio, para finalmente estimular al ojo del microscopista. Es importante reseñar que como consecuencia de la anisotropía que presentan la mayoría de los minerales, la propagación e interacción del haz de luz con la estructura interna del mineral puede variar de manera significativa con las direcciones cristalográficas. Son estas diferencias las que deben constituir la información básica que permitirá al estudiante alcanzar conclusiones sobre la naturaleza y características de los minerales.

A continuación se describen las diferentes partes que constituyen el microscopio.

- **Fuente de iluminación:** situada en la base del microscopio, está constituida generalmente por una bombilla de baja potencia que suministra luz blanca (policromática, conteniendo un rango de longitudes de onda). La intensidad de la luz puede regularse con un mando de ajuste.
- **Diafragma de campo:** puede abrirse o cerrarse para controlar la profundidad del foco y regular la intensidad de luz que incide sobre la preparación.
- **Polarizador:** transforma la luz no polarizada que sale de la fuente de iluminación (vibrando en todas las direcciones) en luz polarizada (vibrando en una sola dirección). Se encuentra debajo de la platina giratoria y se trata de un prisma de Nicol que transmite la luz en un único plano de vibración Norte-Sur.
- **Foco:** situado a ambos lados del microscopio, se emplea para ajustar el enfoque vertical de la preparación (cambia la distancia entre el objetivo y la preparación).
- **Lente convergente:** centra o concentra la luz en un punto por debajo de la preparación.
- **Condensador auxiliar:** al introducirlo proporciona iluminación conosópica (haz de luz que se concentra en un determinado punto de la muestra, iluminándola con un cono de rayos no paralelos), necesaria para observar figuras de interferencia. Para el resto de las observaciones, sin el condensador auxiliar introducido, la luz o iluminación es ortoscópica (haz de luz que índice ortogonalmente en la preparación).

- **Platina giratoria:** plataforma donde se sitúa la preparación. La platina puede girarse libremente 360° para modificar la orientación de la muestra respecto a la luz polarizada. Ya que la mayoría de los minerales son anisótropos, la interacción de la luz con un cristal varía con la rotación de la platina, reflejando el cambio en sus propiedades ópticas en función de la orientación de la red cristalina.
- **Goniómetro:** se trata de una escala angular que permite hacer medidas precisas de los grados que ha girado la platina. Es muy útil para medir ángulos entre exfoliaciones, caras de cristales y orientaciones de macla, así como para la medida de otras propiedades ópticas.
- **Objetivos:** están localizados en el tambor rotatorio. Suelen variar en aumento desde 2X a 50X. Los microscopios que se emplearán en las prácticas tienen 3 objetivos de 5X, 10X y 20X.
- **Analizador:** constituye uno de los componentes más importantes del microscopio. Se trata de un filtro polarizante orientado 90° con respecto al polarizador, que transmite la luz que vibra sólo en la dirección Este-Oeste. Puede insertarse o retirarse dependiendo de las propiedades ópticas que se quieran observar. Cuando el polarizador y el analizador están insertados se dice que se realizan observaciones con nícoles cruzados. En caso de que el analizador no se encuentre insertado, se describe la situación como “observación con nícoles paralelos”.
- **Placa o lámina accesoria:** se sitúa por encima del analizador. Se trata de una lámina de 30 micras de espesor de un mineral conocido, generalmente cuarzo o mica. Al igual que el analizador, puede introducirse o no en la trayectoria del haz de luz. La ranura en la que se inserta la lámina accesoria, que normalmente está incluida en el microscopio como un elemento más, puede también utilizarse para introducir una lámina de cuarzo tallada en forma de cuña. Es decir, con espesor variable. La utilidad de esta cuña se describirá en prácticas posteriores
- **Lente de Bertrand:** por encima de la placa accesoria, la lente de Bertrand se emplea, junto a la iluminación conoscópica y el objetivo de máximo aumento, para observar figuras de interferencia (ver práctica número 2).
- **Oculares:** situados en el extremo superior del tubo del microscopio, proporcionan un aumento adicional al proporcionado por los objetivos. El número de oculares puede ser uno o dos, según el microscopio sea monocular o binocular. En algunos casos, los oculares muestran hilos de retículo perpendiculares entre sí, que facilitan la realización de medidas angulares al girar la platina.

LAS MUESTRAS

Para el estudio de los minerales en el microscopio óptico de luz transmitida se utilizan generalmente láminas transparentes pulidas (Fig. 1). Se trata de láminas de roca cortadas con un espesor fijo, estándar, de generalmente 30 micras, pulidas en ambas caras y montadas sobre un vidrio denominado portaobjetos, con unas dimensiones de 4.75 x 2.8 cm (Fig. 1). La superficie de la muestra debe estar perfectamente pulida para obtener las mejores condiciones posibles de incidencia de la luz. En ocasiones, la lámina de roca está cubierta por otro vidrio denominado cubreobjetos. El espesor de la lámina debe ser lo suficientemente fino para permitir el paso de la luz a través del mineral sin que se produzca un alto grado de absorción que haga irreconocibles las propiedades ópticas del mismo. El espesor de 30 micras mencionado anteriormente garantiza una buena observación para la mayor parte de los minerales transparentes.

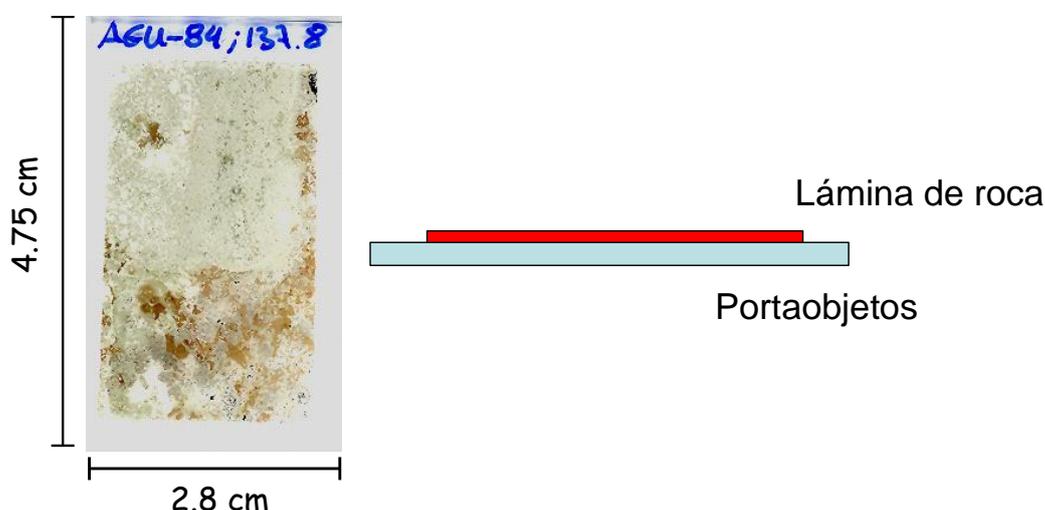


Figura 1. Lámina transparente pulida y esquema mostrando la ubicación de la lámina de roca de 30 micras de espesor sobre el portaobjetos.

En el microscopio de luz transmitida los minerales opacos, como óxidos o sulfuros, se observan negros (Fig. 2) debido a que estos minerales reflejan la mayor parte de la luz que incide sobre su superficie. Puesto que estos minerales no son transparentes, actúan como una “barrera”, impidiendo el paso de la luz a través de ellos. El estudio de minerales opacos precisa el empleo de otro tipo de técnica microscópica denominada microscopía de luz reflejada. Este microscopio es esencialmente similar al de transmisión pero en este caso, la luz incide desde la parte superior del microscopio y se refleja en la superficie de la preparación, volviendo a través del tubo de microscopio hasta el observador. El alumno abordará el estudio de este microscopio en la asignatura de Mineralogía II, que se cursa con posterioridad a la finalización de esta asignatura.



Figura 2. Cristal opaco junto a cristales incoloros.

OBSERVACIONES CON EL MICROSCOPIO DE LUZ TRANSMITIDA

Para la observación de las propiedades ópticas de un mineral transparente, el microscopio puede utilizarse de dos formas diferentes:

- **Sin analizador o con nícoles paralelos:** usando sólo el polarizador. Las propiedades que podemos reconocer son las siguientes:
 - ✓ Forma y hábito.
 - ✓ Color.
 - ✓ Pleocroismo.
 - ✓ Exfoliación.
 - ✓ Relieve.
 - ✓ Líneas de fractura.
- **Con analizador o nícoles cruzados:** el analizador se encuentra insertado a 90° del polarizador, permitiendo el paso de la luz que vibra sólo en dirección Este-Oeste. Por lo tanto, la luz polarizada que vibra en dirección Norte-Sur no puede atravesar el analizador. Es muy fácil reconocer este fenómeno observando la luz polarizada del microscopio sin muestra alguna en la platina. Sin analizador, se verá el haz luminoso en forma de campo de visión iluminado, mientras que al introducir el analizador el campo de visión queda oscurecido por completo al no haber ninguna componente de la luz incidente que pueda atravesar el analizador, es decir, que vibre Este-Oeste. Por el contrario, si la platina tiene una preparación, la muestra generalmente cambia el plano de polarización de la luz, de manera que al menos una parte del haz incidente puede atravesar el analizador. Con nícoles cruzados pueden identificarse las siguientes propiedades:
 - ✓ Isotropía o anisotropía.
 - ✓ Colores de anisotropía o interferencia.
 - ✓ Tipo de extinción.
 - ✓ Maclado.

Como se ha señalado anteriormente, en esta primera práctica se observarán en detalle las propiedades ópticas que se pueden reconocer con nícoles paralelos.

PROPIEDADES ÓPTICAS CON NÍCOLES PARALELOS

Forma

Hace referencia al desarrollo de caras cristalinas. Los cristales pueden ser:

- Idiomorfos o euhedrales (Fig. 3): los cristales presentan límites rectilíneos que corresponden a caras del cristal.
- Subidiomorfos o subhedrales: los cristales tienen sólo algunos límites rectilíneos y otros no asimilables a una cara cristalina recta. Se trata de cristales parcialmente desarrollados.
- Alotriomorfos o anhedrales: el cristal carece de límites rectilíneos, sin poderse reconocer, por tanto, ninguna cara cristalina.

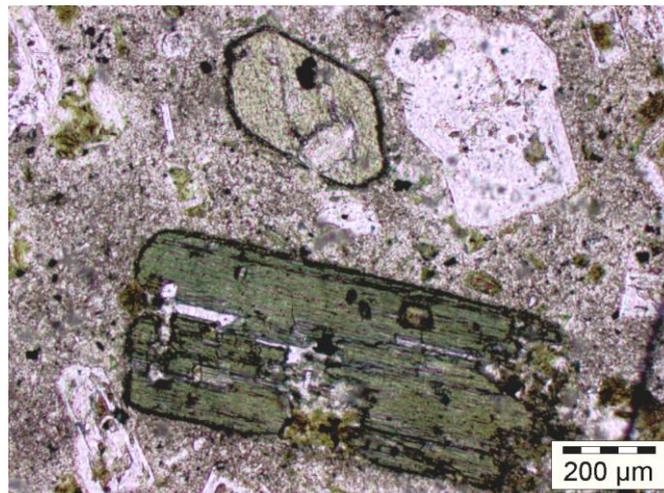


Figura 3. Cristales idiomorfos de anfíbol verde de tipo hornblenda.

Hábito

Hace referencia a la morfología que presentan los cristales. Los hábitos pueden ser tabulares, aciculares, fibrosos, poligonales, fibroso-radiados, prismáticos, laminares, lenticulares, granulares, etc. (Fig. 4).

El hábito de un cristal puede también reconocerse con nícoles cruzados, especialmente cuando los minerales presentan relieve bajo y sus contornos son más fácilmente reconocibles. Hay que destacar que un mismo mineral puede presentar diferentes hábitos en función de la sección cristalina que presente. Por ejemplo, en la

figura 4 aparecen dos secciones diferentes de un mismo mineral, el anfíbol. Mientras que la sección basal de un anfíbol es pseudo-hexagonal, su sección longitudinal es prismática.

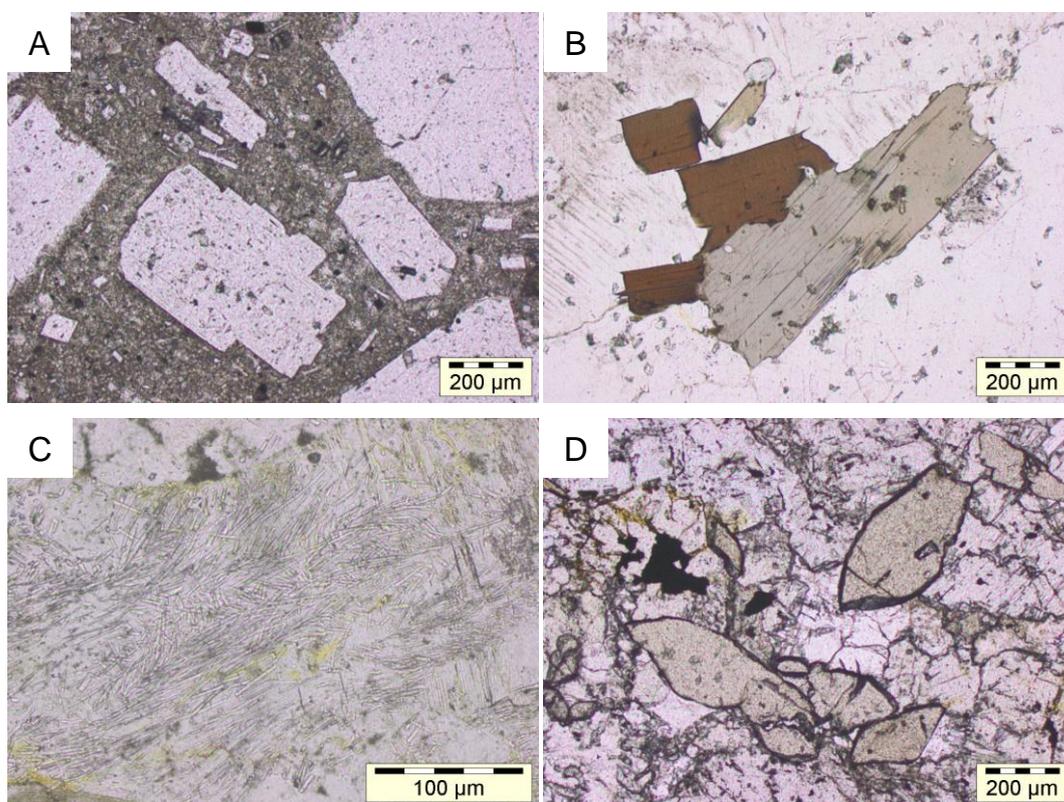


Figura 4. Hábitos cristalinos: A. Cristales tabulares de plagioclasa. B. Biotitas con hábito laminar. C. Cristales fibrosos de sillimanita. D. Cristales lenticulares de esfena.

Color

El color que muestra un mineral depende de la absorción selectiva de determinadas longitudes de onda de la luz blanca. Los minerales transparentes pueden carecer de color (incolores) o presentar un color bien diferenciado (marrón, azul, verde, etc.) (Fig. 5). Es importante no confundir el color de un mineral con su color de anisotropía. Cuando nos referimos únicamente a color se debe entender como el color de transmisión, que presenta el mineral con nicoles paralelos.

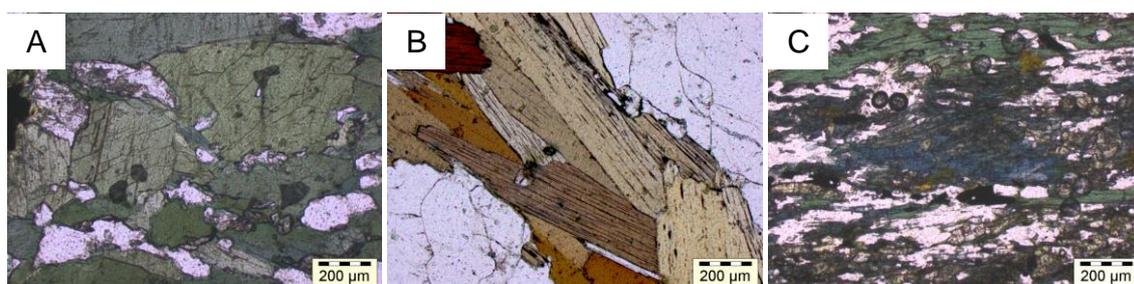


Figura 5. Colores de distintos minerales: A.- Anfíbol verde. B.- Biotitas marrones. C.- Cristales azules de glaucofana.

Pleocroísmo

Consiste en la variación del color de un mineral al girar la platina debido a la absorción selectiva de longitudes de onda según diferentes direcciones cristalográficas. Algunos minerales, como por ejemplo la biotita, muestran pleocroísmo muy marcado o intenso (Fig. 6), mientras que otros minerales, como por ejemplo la estaurólita, presentan pleocroísmo más débil (Fig. 7). Por tanto, a la hora de describir este fenómeno es importante señalar su grado o intensidad (débil, moderado o intenso) y el rango de tonos de color que exhibe (en tonos verdes, marrones, amarillos, etc.).

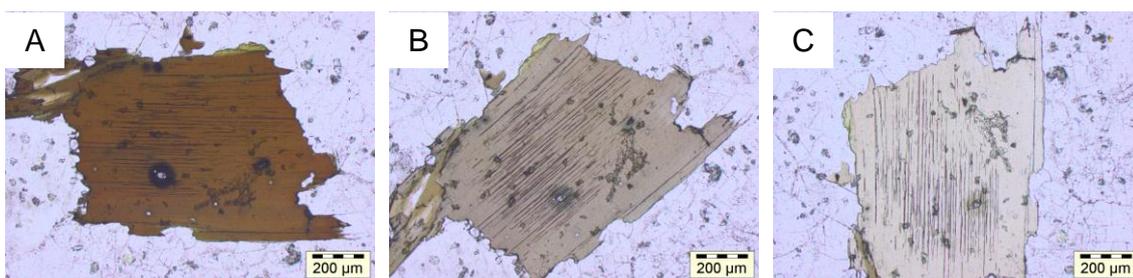


Figura 6. Pleocroísmo intenso de la biotita en tonos pardo-marrón. Las fotos B y C están tomadas tras girar la platina 45° y 90° respectivamente, respecto a la posición A.

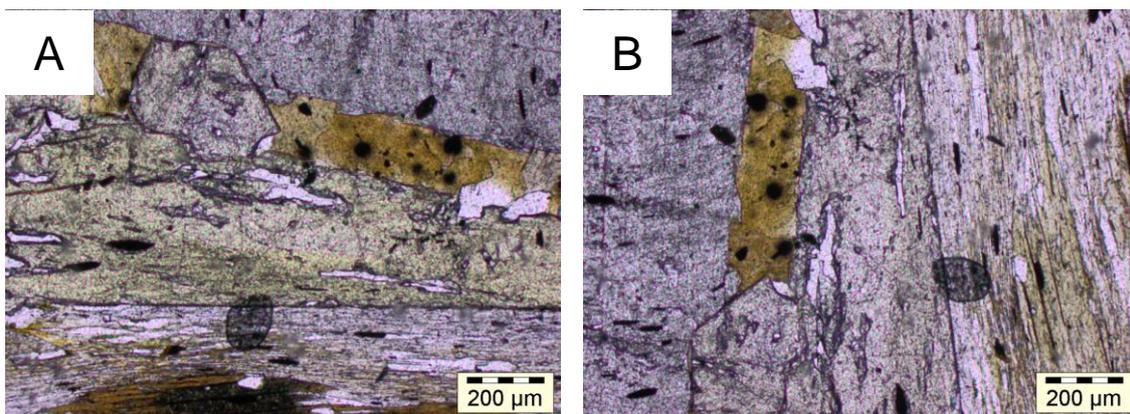


Figura 7. Pleocroísmo débil-moderado de la estaurólita en tonos amarillos. La foto B está tomada tras girar la platina 90° respecto a la posición A.

Relieve

Representa el hecho de que un grano mineral destaque con mayor o menor nitidez en el campo de visión del microscopio. Cuanto mayor es el relieve, más nítido se observa el borde del mineral. De igual manera, un mineral que presenta exfoliación, mostrará líneas de exfoliación más marcadas y nítidas cuanto mayor sea su relieve. El relieve puede describirse como bajo, medio o alto. Como norma general, en los minerales con relieve bajo es difícil reconocer los contornos de borde de grano, así como las líneas de exfoliación, en caso de que éstas existan (Fig. 8 A-B). En los minerales con relieve medio o moderado, los límites de los cristales están bien definidos y sus líneas de exfoliación se observan con nitidez (Fig. 9 C-D).

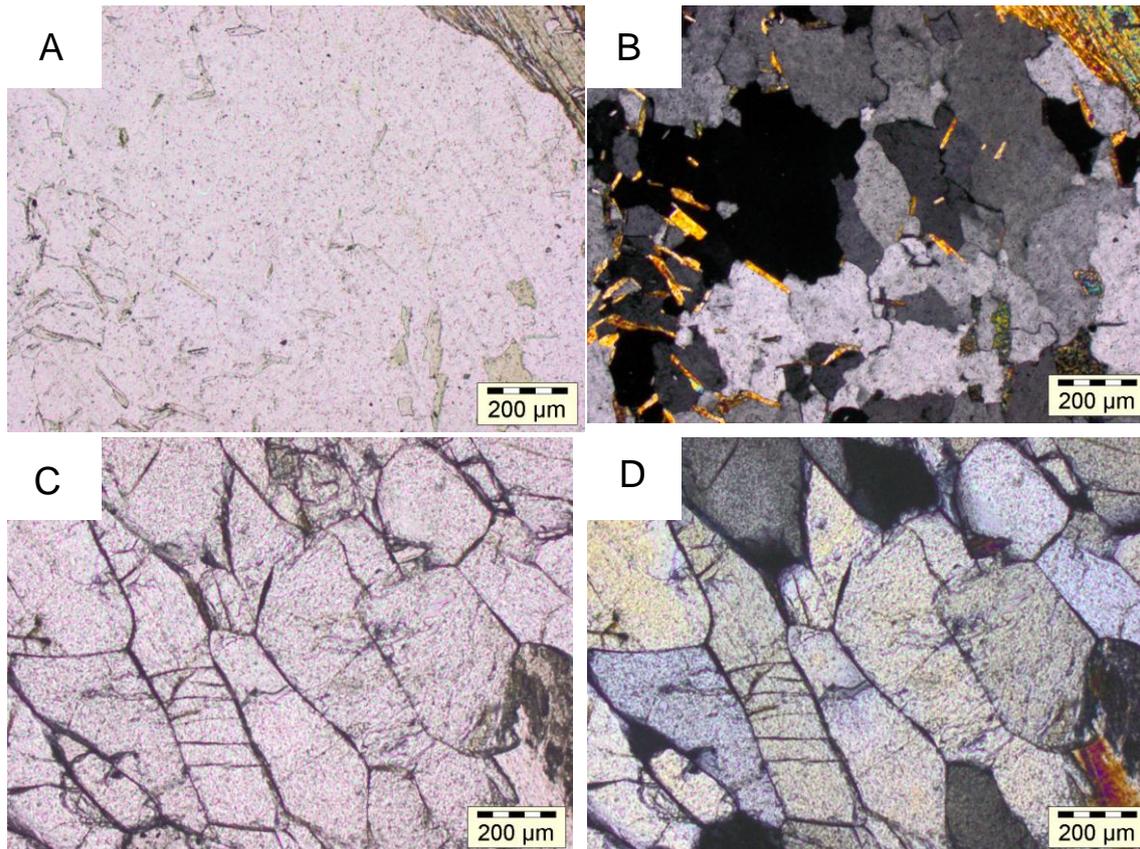


Figura 8. Diferentes tipos de relieve. A y B. Relieve bajo; observa que en la foto A, tomada con nicos paralelos, no se reconocen los bordes entre granos que sí son fácilmente reconocidos en la foto B, tomada con nicos cruzados. C y D. Relieve moderado; los bordes de grano aparecen nítidos y muy bien marcados (nicos paralelos y cruzados respectivamente).

Exfoliación

Algunos minerales pueden fragmentarse o exfoliarse a partir de unos planos cristalográficos determinados, definidos por su estructura. Estos planos suelen corresponder a planos de debilidad, es decir, planos que cortan enlaces significativamente más débiles que la mayoría de los presentes en el mineral. La exfoliación se reconoce por el desarrollo de uno o más sistemas o familias de finas líneas negras, rectas y paralelas entre sí. Hay que tener en cuenta que para que se puedan reconocer las líneas de exfoliación el mineral debe tener un relieve relativamente alto, ya que en caso contrario, aún exfoliándose, las líneas de exfoliación pueden no ser visibles (por ejemplo en los feldespatos). Además, algunos minerales como, por ejemplo, los anfíboles, tienen diferentes sistemas de líneas de exfoliación según la sección cristalina. Así, en secciones basales muestran dos sistemas de líneas que se cruzan a aproximadamente 120° , mientras en secciones longitudinales muestran una única familia de líneas de exfoliación (Fig. 9).

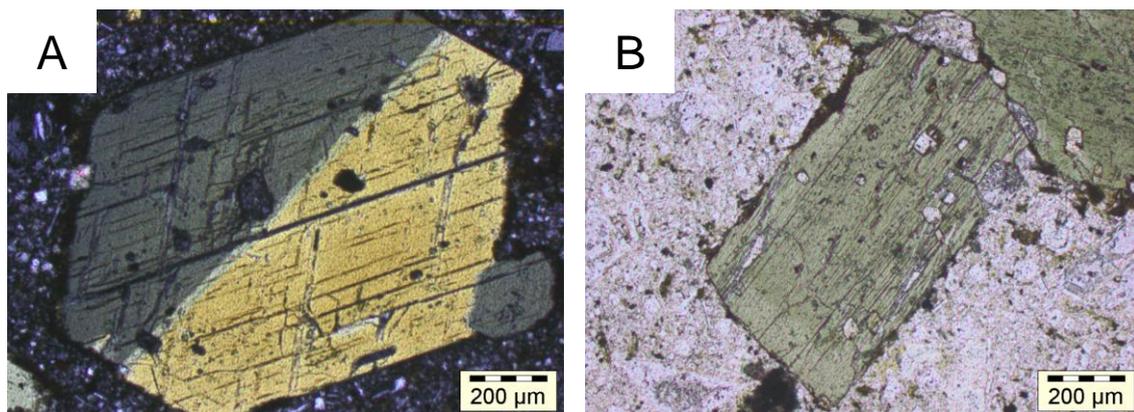


Figura 9. Exfoliación del anfíbol. A. sección basal con dos sistemas de líneas de exfoliación que se cortan a aproximadamente 120° (nícoles cruzados). B. Sección longitudinal con una única familia de líneas de exfoliación.

Líneas de fractura

Todos los minerales pueden fracturarse, sin embargo, unos minerales pueden estar más fracturados que otros. No hay que confundir las líneas de fractura con las líneas de exfoliación. La principal diferencia radica en que las líneas de fractura, a diferencia de las líneas de exfoliación, se desarrollan sin ningún control cristalográfico, es decir, no están orientadas ni son paralelas entre sí. Por el contrario, aparecen como líneas negras, generalmente más gruesas que las líneas de exfoliación, distribuidas de manera aleatoria en el cristal (Fig. 10).

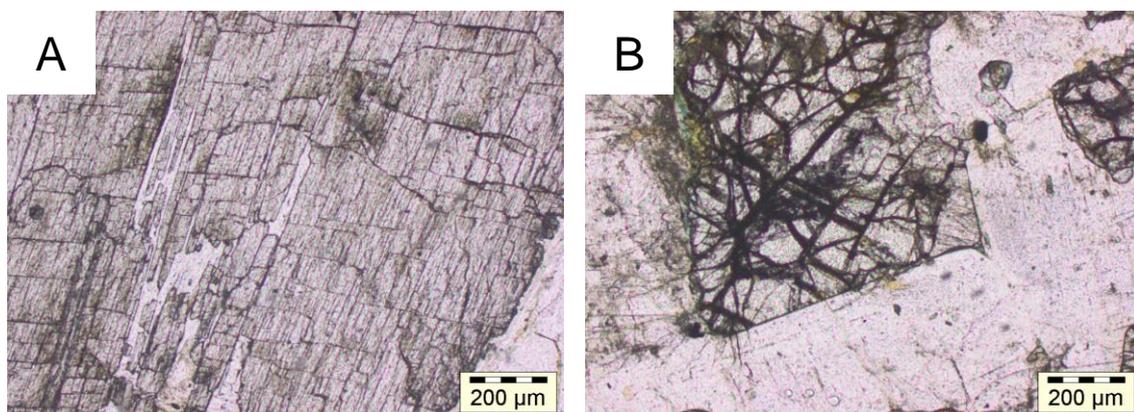


Figura 10. Líneas de exfoliación en cristal de cianita o distena en A, y líneas de fractura en cristal de olivino en B. Observa como las líneas de fractura aparecen de manera aleatoria sin ningún control cristalográfico, mientras que las líneas de exfoliación son paralelas entre sí.

PRÁCTICA

Para la realización de los siguientes ejercicios prácticos por parte del alumno se

proponen las siguientes láminas transparentes pulidas: láminas 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13 y 14. Cada una de estas láminas irá acompañada de una breve descripción de las propiedades ópticas sin analizador de los minerales que presentan

1. Identifica los elementos que posee el microscopio de luz transmitida.
 - ✓ Fuente de alimentación.
 - ✓ Foco.
 - ✓ Polarizador.
 - ✓ Analizador.
 - ✓ Lente de Bertrand.
 - ✓ Lente convergente.

2. Diferencia los minerales opacos de los minerales transparentes a simple vista y bajo la luz transmitida.

3. Describe la forma y hábito de los minerales que constituyen las láminas transparentes seleccionadas. Haz un esquema de los hábitos más representativos.

4. Describe el color de los minerales que constituyen las distintas preparaciones. ¿Alguno de ellos muestra pleocroísmo? Si es así, descríbelo.

5. Busca un mineral con relieve bajo y otro con relieve moderado o alto. Observa de manera detallada sus bordes de grano e indica cómo has llegado a conclusiones sobre sus relieves relativos.

6. ¿Alguno de los minerales de las láminas seleccionadas presentan líneas de exfoliación? Sí es así, describe el número de familias de líneas de exfoliación que muestran.

7. Elige una lámina y completa la siguiente tabla.

Nº Lámina:	MINERAL I	MINERAL II	MINERAL III
FORMA			
HÁBITO			
COLOR			
PLEOCROISMO			
RELIEVE			
LÍNEAS DE EXFOLIACIÓN			

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Berry, L. G., Mason, B. y Dietrich, R. V. 1993. *Mineralogy*. W. H. Freeman & Co., San Francisco.

- Deer, W. A., Howie, R. A. y Zussmann, J. 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. (2nd edition). Longman, London.
- Frye, K. 1993. *Mineral science: an introductory survey*. Macmillan Publ Co. New York.
- Gribble, C. D. y Hall, A. J. 1992. *Optical Mineralogy: Principles and practice*. UCL Press Limited. London.
- Jaffe, H. W. 1989. *Introduction to Crystal Chemistry*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Klein, C. 1989. *Minerals and rocks: exercises in Crystallography, Mineralogy, and hand specimen petrology*. John Wiley & Sons. New York.
- Klein, C. y Hurlbut, C. S. 1997. *Manual de Mineralogía* (4ª edición). Reverté, Barcelona.
- Mackenzie, W. S., Adams, A. E. 1997. *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada*. Masson. 239 p.
- Perkins, D. y Henke, K. R. 2000. *Minerales en lámina delgada*. Prentice Hall. 139 p.
- Putnis, A. 1992. *Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rousseau, J. J. 1998. *Basic Crystallography*. John Wiley & Son Ltd. White WM (1997) Geochemistry. On line course. Cornell University. New York.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Óptica mineral de Juan Jiménez Millán del Dpto. de Geología de la Universidad de Jaén y Nicolás Velilla del Dpto. de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Oviedo. Fecha de consulta: octubre 2011. Disponible en:

<http://geologia.ujaen.es/opticamineral/paginas/default.htm>

WebMineral

<http://webmineral.brgm.fr:8003/mineraux/Main.html>

Recibido: 16 enero 2012.

Aceptado: 10 diciembre 2014.