

Mineralogía I de Grado en Geología. Prácticas. 2. Introducción al microscopio de luz transmitida II: Propiedades ópticas con 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: Esta práctica constituye una continuación de la práctica anterior, número 1 (Introducción al microscopio de luz transmitida I: Propiedades ópticas sin analizador), que trató sobre los diferentes componentes que forman el microscopio óptico de transmisión y las observaciones que con él pueden realizarse mediante nícoles paralelos o sin analizador. Para completar la introducción al uso del microscopio, esta práctica abordará las propiedades ópticas que se observan con analizador o nícoles cruzados, siendo el principal objetivo, que el alumno adquiera al final de estas dos primeras prácticas el conocimiento y la destreza necesarios para reconocer por sí solo los principales silicatos basándose en la identificación de sus propiedades ópticas.

Palabras clave: Microscopio óptico de transmisión. Luz transmitida. Propiedades ópticas. Nícoles cruzados. Isotropía. Anisotropía. Extinción. Maclado.

PROPIEDADES ÓPTICAS CON NÍCOLES CRUZADOS

Isotropía o anisotropía

Cuando un haz de luz entra en el interior de un cristal, su velocidad de propagación cambia en función del índice de refracción del cristal. Este índice, representado con la letra n , expresa la relación entre la velocidad de la luz en el aire y su velocidad en el medio, en este caso, el interior del cristal. Los minerales pueden tener uno o más índices de refracción. Aquellos minerales que poseen más de un índice de refracción poseen la cualidad de la doble refracción. Este fenómeno consiste en que al entrar un haz de luz polarizada (por ejemplo, vibrando en el plano N-S) en el cristal, cada rayo de luz se divide en dos rayos, también polarizados y cuyos planos de polarización son perpendiculares entre sí. Estos dos rayos viajan a velocidades diferentes, puesto que les corresponden índices de refracción distintos. A la diferencia entre los índices de refracción del rayo rápido y lento ($n_{\text{rápido}} - n_{\text{lento}}$) se le denomina birrefringencia. Los **minerales isótropos** son aquellos que no presentan el fenómeno de la doble refracción debido a que sólo tienen un único índice de refracción y por tanto su birrefringencia es cero. Por el contrario, los **minerales anisótropos** sí tienen más de

un índice de refracción, presentan el fenómeno de la doble refracción y su birrefringencia varía dependiendo de la sección del cristal que se considere.

Minerales isótropos

La luz abandona el polarizador vibrando en el plano N-S. Al entrar en un mineral isótropo no se modifica su dirección de vibración y emerge del cristal vibrando en el mismo plano N-S. El analizador está orientado E-O, a 90° del polarizador (sólo permite el paso de haces de luz vibrando E-O). De esta manera, la luz no puede atravesar el analizador y los minerales isótropos se ven invariablemente negros o extinguidos a lo largo de los 360° de rotación de la platina (Fig. 1). Todos los minerales que cristalizan en el sistema cúbico son isótropos.

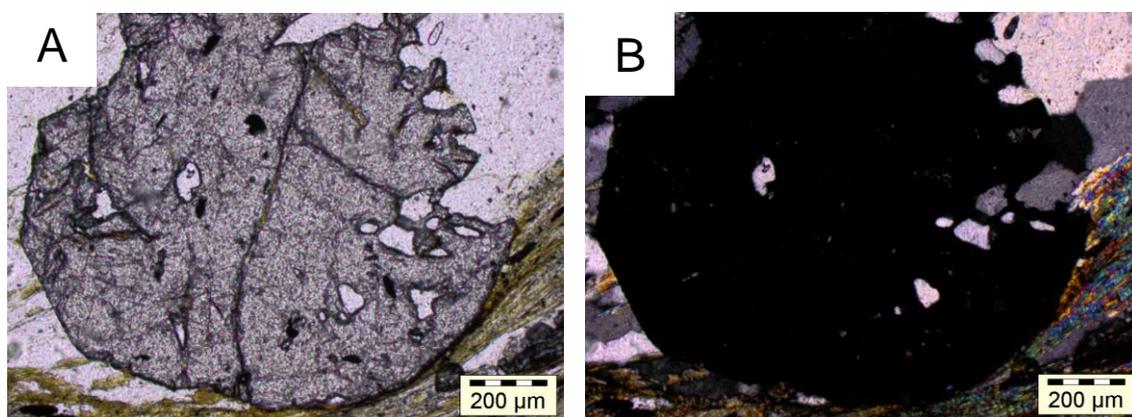


Figura 1. A. Foto de mineral isótropo (granate) con nícoles paralelos. B. Foto con nícoles cruzados. El mineral permanece extinguido a lo largo de los 360° de rotación de la platina.

Minerales anisótropos

La luz que entra en el interior del mineral se divide en dos rayos polarizados que vibran en planos perpendiculares entre sí y se propagan a diferentes velocidades. Al abandonar el mineral, los dos rayos siguen vibrando en los mismos planos pero en el aire vuelven a propagarse a la misma velocidad. Sin embargo, el rayo lento llevará un retardo con respecto al rayo rápido tras su paso por el cristal. Cuando alcanzan el analizador algún componente de ambos rayos pasará a través de él, siempre y cuando las direcciones de vibración de los rayos no sean perpendiculares al analizador (Fig. 2 A). A medida que se gira la platina, la intensidad de uno de los rayos disminuye hasta convertirse en cero cuando el otro rayo vibra paralelamente al polarizador (Fig. 2 B-C). En ese momento, ningún haz de luz atravesará el analizador y el mineral se verá extinguido. La situación se repite cada 90° , de forma que un mineral anisótropo presenta 4 posiciones de extinción, mostrando colores de interferencia o anisotropía entre dichas posiciones. (Fig. 3).

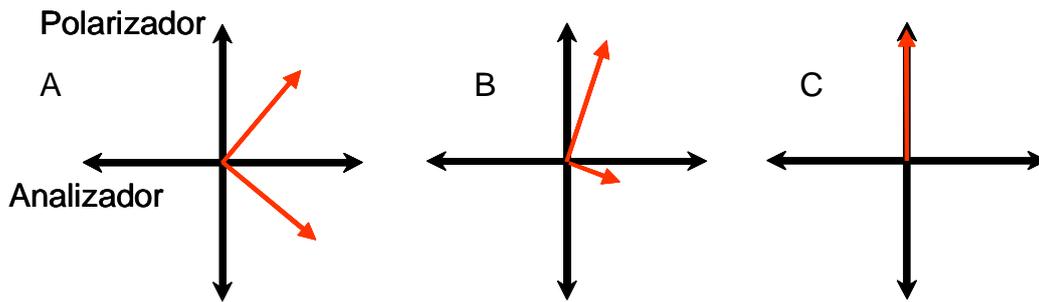


Figura 2. En el esquema A, componentes de ambos rayos pasan por el analizador y se combinan para generar la luz que llega al observador. Al girar la platina, la intensidad de uno de los rayos disminuirá (B) hasta que se hace cero cuando el otro rayo vibra paralelamente al polarizador (C). En ese punto el mineral se extinguirá.

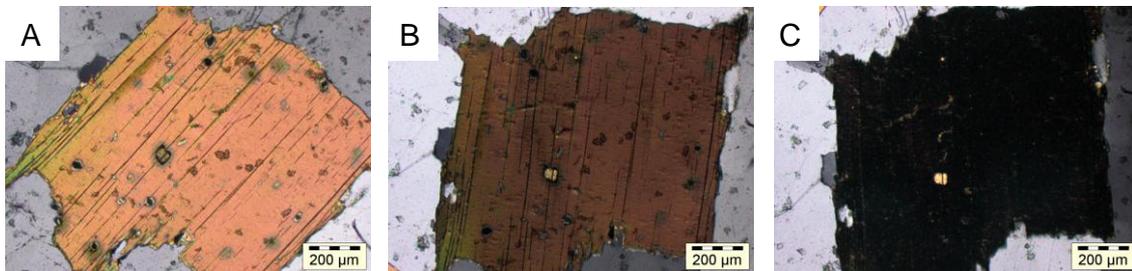


Figura 3. Ejemplo de mineral anisótropo (biotita). En A, el mineral muestra sus colores de anisotropía. Al girar la platina, la intensidad de uno de los rayos disminuye, lo que se traduce en colores más apagados (B) hasta que se hace cero cuando el otro rayo vibra paralelamente al polarizador (N-S) (C). En ese momento, el mineral se extingue. La situación se repite cada 90°.

Colores de anisotropía

A la salida de un cristal anisótropo, los dos rayos de luz vibran en planos perpendiculares entre sí con un retardo de uno respecto a otro, como consecuencia de las diferentes velocidades de propagación a través del cristal. Al alcanzar el analizador, las componentes de los dos rayos lo atraviesan sufriendo al mismo tiempo fenómenos de interferencia que se manifiestan en forma de colores de interferencia o anisotropía. Estos colores no son característicos del cristal porque depende directamente del retardo de los dos rayos de luz. El retardo (Δ , expresado en nm) viene definido por la siguiente relación:

$$\Delta = d \cdot (n_{\text{rápido}} - n_{\text{lento}})$$

donde d es el espesor del mineral y $(n_{\text{rápido}} - n_{\text{lento}})$ es la birrefringencia. Para cada retardo existe un color de interferencia determinado. La Tabla de Colores de Michel-Lévy (Fig. 4) muestra los colores de interferencia más comunes, relacionando el retardo con la birrefringencia y el espesor. Cuanto mayor es la birrefringencia o el espesor del cristal, mayor es el retardo. La Tabla se divide a grandes rasgos en tres zonas: colores de interferencia de 1º orden, 2º orden y 3º orden. Los colores de

interferencia bajos o de 1º orden son aquellos correspondientes a retardos inferiores a, aproximadamente, 500 nm: diferentes tonalidades de grises y amarillos claros. Los colores de interferencia altos o de 2º orden corresponden a retardos de hasta 1100 nm y se caracterizan por ser rojos, verdes, azules, amarillos vivos, violetas, etc.... Finalmente, los colores de interferencia de 3º orden o anómalos se caracterizan por ser de tonos pastel.

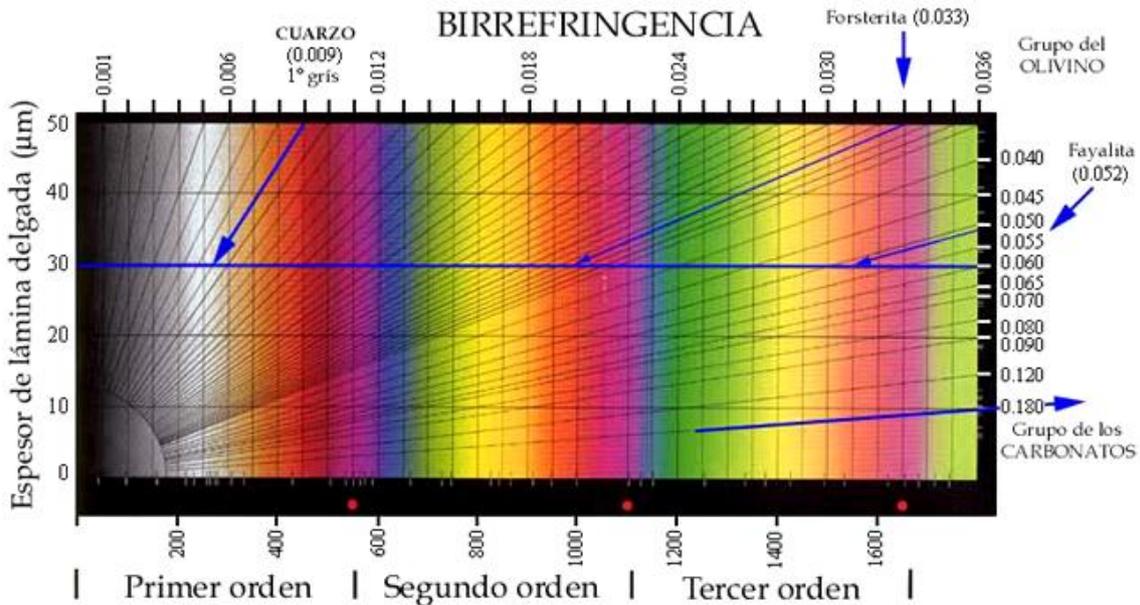


Figura 4. Tabla de Colores de Michel-Lévy (Modificado de Klein, C. y Hurlbut, C.S. 1997)

En lámina transparente y bajo el microscopio, todos los minerales anisótropos presentan colores de interferencia característicos, diagnóstico de cada mineral, ya que el espesor de los cristales es siempre el mismo, 30 micras, y su color de anisotropía vendrá determinado por su birrefringencia (Fig. 5). Por último, es importante señalar que los minerales anisótropos pueden tener uno o dos ejes ópticos a lo largo de los cuales no se produce el fenómeno de la doble refracción. Por tanto, hay que tener en cuenta a la hora de estudiar la anisotropía que las secciones de los minerales anisótropos perpendiculares a los ejes ópticos se comportan como secciones isótropas.

Se dice que un mineral anisótropo tiene extinción recta cuando se extingue al orientar determinadas direcciones cristalográficas del cristal (como por ejemplo caras, líneas de exfoliación, maclas, etc.) exactamente según la dirección N-S del ocular. Por el contrario, si la extinción se alcanza con esas direcciones cristalográficas preferentes formando un ángulo con la dirección N-S, se dice que la extinción es oblicua. Para determinar si la extinción es recta u oblicua y, en este segundo caso, el valor del ángulo de extinción, debe seguirse el siguiente procedimiento (Fig. 6).

- Buscar un cristal que presente una buena referencia geométrica. Suelen ser cristales idiomorfos con una cara paralela a la dirección de alargamiento o con buen desarrollo de líneas de exfoliación.

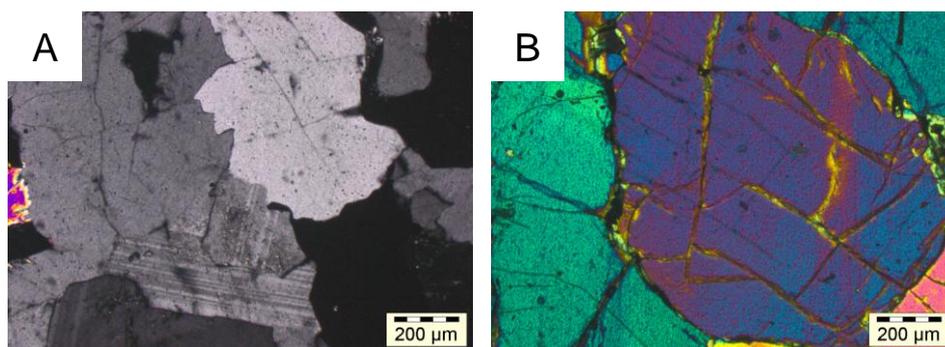


Figura 5. Colores de interferencia grises característicos de primer orden de cuarzo y plagioclasa (A) y altos o de segundo orden de clinopiroxeno (B).

- Orientar la referencia del cristal en la dirección N-S.
- Insertar el analizador.
- El cristal tendrá extinción recta si en esa posición se extingue, de lo contrario tendrá extinción oblicua.
- En caso de extinción oblicua, para medir el ángulo de extinción habrá que girar la platina los grados necesarios hasta alcanzar la extinción (para ver los grados girados, se usa el goniómetro situado en el contorno de la platina). El ángulo de extinción será el ángulo que forma la dirección N-S del retículo con la referencia geométrica del cristal (por ejemplo, la cara paralela al alargamiento).

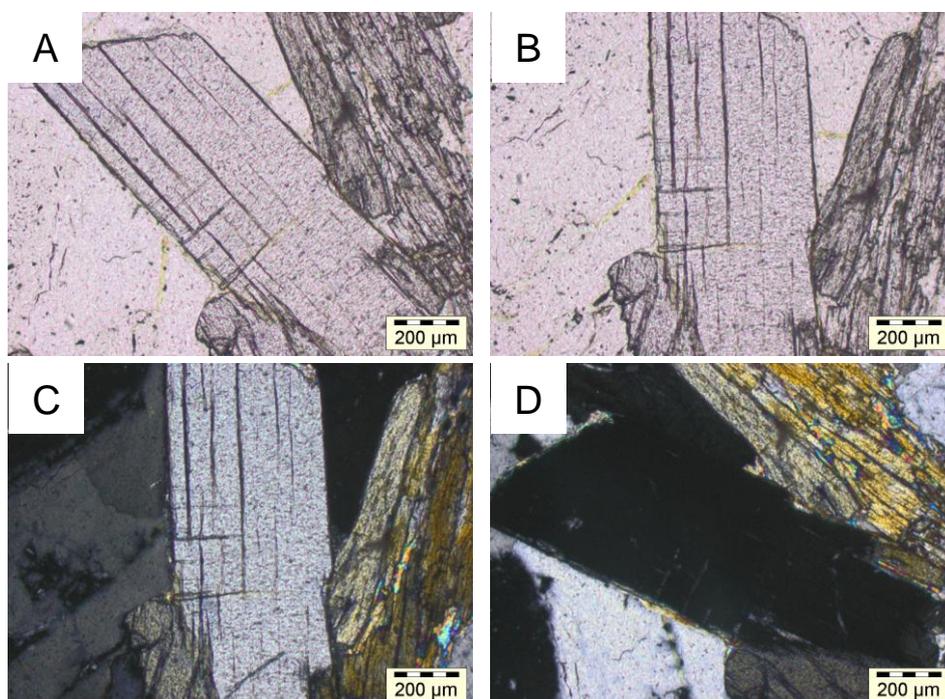


Figura 6. Pasos a seguir para la determinación del tipo y ángulo de extinción. A. Encontrar un cristal con una buena referencia geométrica (cristal idiomorfo con caras alargadas). B. Orientar el cristal según la referencia geométrica en posición N-S. C. Introducir el analizador. D. Girar la platina hasta alcanzar la extinción completa del cristal si en esa posición no se ha extinguido. En este caso, el ejemplo muestra un cristal con extinción oblicua.

Tipos y ángulos de extinción

En la figura 7 se muestra un ejemplo de cristal con extinción recta.

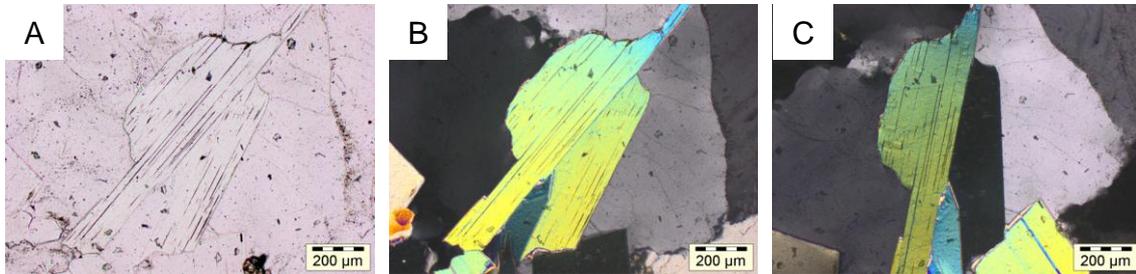


Figura 7. Ejemplo de extinción recta. A. Cristales de moscovita con un buen sistema de líneas de exfoliación paralelas al eje de alargamiento. B. Al introducir el analizador, los cristales permanecen iluminados mostrando sus colores de interferencia (altos de 2º orden). C. El cristal de la derecha se extingue al quedar orientado N-S.

Maclado

Cuando se observa un cristal maclado con nícoles cruzados, la extinción de los diferentes individuos que componen la macla no tiene lugar a la vez. Las maclas pueden ser sencillas, y estar constituidas por dos cristales, o compuestas, y formadas por numerosos individuos cristalinos. Las maclas sencillas no sirven para determinar el ángulo de extinción y las maclas compuestas sólo son útiles para determinar el ángulo de extinción si ésta es simétrica con respecto a los hilos del retículo. Los tipos de maclas más comunes son: simple, polisintética, cíclica o en enrejado (por ejemplo, macla de la microclina) (Fig. 8).

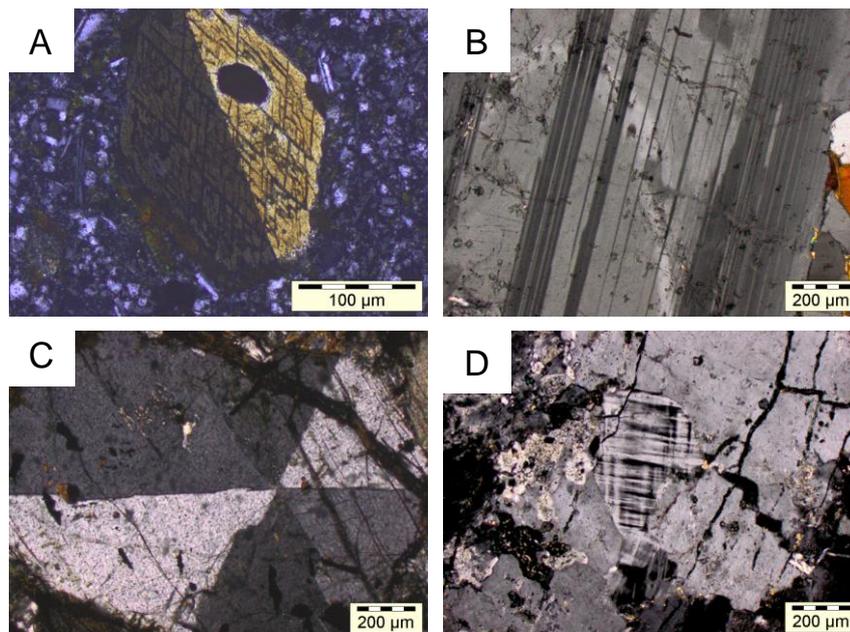


Figura 8. Tipos de macla: A. Macla simple en sección basal de anfíbol. B. Macla polisintética en plagioclasa. C. Macla cíclica en cordierita. D. Macla en enrejado típica de la microclina.

PRÁCTICA

Se proponen las mismas láminas transparentes pulidas que las empleadas para la práctica número 1 (láminas 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13 y 14), pero en esta ocasión se trata de responder a las siguientes preguntas relacionadas con observaciones con nícoles cruzados.

1. Diferencia claramente entre minerales opacos, isótropos y anisótropos en la lámina número 2.
2. Describe los colores de anisotropía de los distintos minerales que constituyen la preparación. Compara los colores para determinar qué mineral tiene menor birrefringencia.
3. Selecciona una serie de minerales anisótropos y comprueba que sus posiciones de extinción se repiten cada 90°. Comprueba también que las posiciones de máxima iluminación se producen a cada 90°.
4. Identifica el tipo y determina el ángulo de extinción de los minerales anisótropos. Para ello, de entre todos los cristales del mismo mineral que observas en la preparación, selecciona aquellos cristales que tengan las mejores referencias geométricas.
5. ¿Existen minerales maclados en las preparaciones propuestas? Describe las maclas que observes. ¿De qué tipo son?
6. Elige una lámina y completa la siguiente tabla.

Nº Lámina:	MINERAL I	MINERAL II	MINERAL III
FORMA			
HÁBITO			
COLOR			
PLEOCROISMO			
RELIEVE			
LÍNEAS DE EXFOLIACIÓN			
ISÓTROPO O ANISÓTROPO			
COLORES DE INTERFERENCIA			
EXTINCIÓN			
MACLADO			

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.