

## **Mineralogía II de Grado en Geología. Prácticas.**

### **1. Introducción al microscopio de luz reflejada I: Propiedades ópticas de minerales de mena**

**Nuria Sánchez-Pastor. Francisco Javier Luque del Villar. Rubén Piña García.**

Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense.

c/ José Antonio Nováis nº 2. 28040-Madrid.

[nsanchez@geo.ucm.es](mailto:nsanchez@geo.ucm.es) [jluque@geo.ucm.es](mailto:jluque@geo.ucm.es) [rpinagar@geo.ucm.es](mailto:rpinagar@geo.ucm.es)

**Resumen:** Esta práctica está dirigida a estudiantes de Mineralogía de Grado en Geología que ya poseen conocimientos básicos sobre microscopía de luz transmitida. La meta de esta práctica es observar y reconocer las diferentes propiedades ópticas de los minerales opacos. Para ello, se proponen una serie de probetas pulidas ordenadas en distintos grupos que presentan minerales con propiedades muy diferentes. Además, mediante la identificación de sus propiedades, estos minerales podrán ser clasificados con ayuda de las tablas de identificación de minerales opacos (Tablas de Schouten).

**Palabras clave:** Microscopio metalogénico. Luz reflejada. Propiedades ópticas. Minerales opacos.

#### **EL MICROSCOPIO DE LUZ REFLEJADA**

El microscopio utilizado para el estudio de los minerales opacos (microscopio metalogénico o de reflexión) es esencialmente igual al microscopio utilizado para el estudio de minerales transparentes (microscopio petrográfico o de transmisión). La principal diferencia estriba en la forma en la que la luz llega a la muestra, ya que en el microscopio metalogénico la luz se hace incidir desde arriba, a través del objetivo, y se refleja en la superficie de los minerales.

#### **LAS MUESTRAS**

Para el estudio de los minerales en el microscopio de luz reflejada se utilizan generalmente “probetas pulidas”, que consisten en un trozo de roca o mineral embutido en una resina sintética. En ocasiones se utilizan láminas pulidas algo más gruesas que las utilizadas en el microscopio de luz transmitida, con el fin de poder hacer simultáneamente el estudio de las fases transparentes y opacas. En cualquier caso, la superficie de la muestra debe estar perfectamente pulida para obtener las mejores condiciones posibles de reflexión de la luz.

En el microscopio de luz reflejada las fases transparentes se observan con un color gris muy oscuro debido a que reflejan sólo una parte muy pequeña (<10%) de la luz que incide sobre su superficie.

Los minerales opacos van a presentar, en general, colores grises más claros o blancos ya que reflejan un porcentaje mayor de la luz incidente (15-90%). Algunos minerales opacos pueden presentar colores distintivos y definidos (azul, amarillo, etc.), pero en la mayoría de estos minerales sólo vamos a observar distintos tonos que abarcan toda la gama entre el blanco y el gris.

### OBSERVACIONES AL MICROSCOPIO DE LUZ REFLEJADA

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

- **Sin analizador:** usando sólo el polarizador. Equivaldría a las observaciones con “nícoles paralelos” en el microscopio de luz transmitida. Las probetas se deben observar con luz de intensidad media y filtro azul. Con esta disposición del microscopio pueden determinarse las siguientes propiedades:
  - Color.
  - Reflectividad.
  - Birreflectividad y pleocroísmo de reflexión.
  - Dureza de pulido.
- **Con analizador:** éste se encuentra insertado a 90º del polarizador. Las observaciones serían equivalentes a las realizadas con “nícoles cruzados” en el microscopio de luz transmitida. Las probetas se deben observar con luz de intensidad máxima y sin filtro azul. Pueden identificarse las siguientes propiedades:
  - Color de polarización.
  - Isotropía/anisotropía.
  - Reflexiones internas.
  - Maclado.

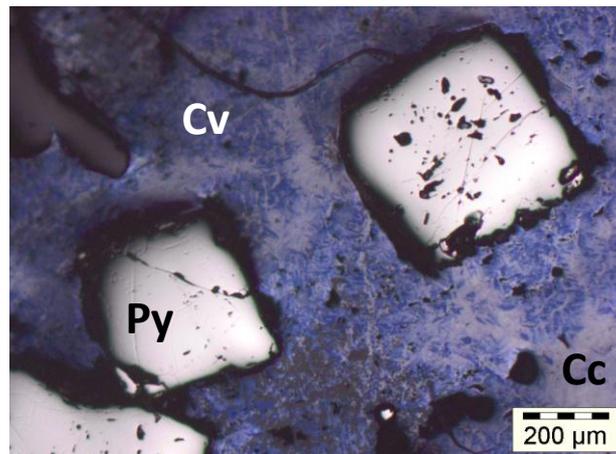
### PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES OPACOS

#### Color

La mayoría de los minerales opacos presentan un color en la gama de blanco a gris, lo que se considera como “color no distinguible”. Algunos minerales que presentan estos colores son galena, esfalerita o estibina. Otros, por el contrario, presentan colores bien

definidos, como por ejemplo, azul en la covellina, amarillo en la calcopirita o rosa en la niquelina (Fig. 1). Hay que señalar que en la mayor parte de los minerales el color puede variar en función de:

- Los minerales que lo rodean. Así, por ejemplo, la pirita puede presentar un color amarillento si aparece en contacto con minerales de color no distinguible, o blanca si está en contacto con calcopirita (amarilla).
- La iluminación. Por ello, siempre se debe realizar esta observación del color en las mismas condiciones.
- La calidad del pulido. El color es más claro cuánto mejor pulido esté el mineral.



**Figura 1.** Cristales blancos de pirita, “color no distinguible” (Py, elevada reflectividad), junto con covellina (Cv; color azul) y calcosina (Cc,, gris azulado).

En cualquier caso, el color de los minerales opacos al microscopio de luz reflejada es una propiedad bastante subjetiva, por lo que a menudo los distintos autores no coinciden al definir el color de los diferentes minerales.

### **Reflectividad**

La reflectividad de una superficie pulida, en este caso de un mineral, se define como el porcentaje de luz incidente que es reflejada por esa superficie. La reflectividad de un mineral opaco depende de:

- La orientación cristalográfica de la sección que estemos observando (si el mineral es anisótropo).
- La intensidad de la luz incidente. Por ello, hay que estimar la reflectividad de los distintos minerales utilizando siempre la misma intensidad.

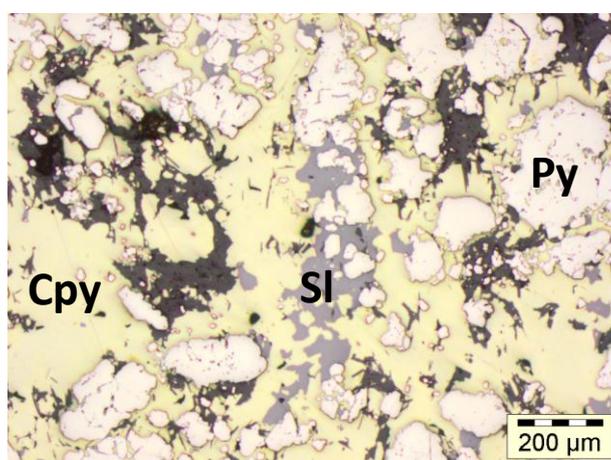
La reflectividad puede medirse cuantitativamente utilizando un fotómetro acoplado al microscopio, aunque generalmente se hace una estimación cualitativa,

expresando la reflectividad como “alta”, “media” o “baja” (ver tabla 1). Se considera reflectividad alta cuando el mineral refleja más del 50 % de la luz que recibe (p. ej. pirita), media cuando el mineral refleja entre el 25 y el 50 % (p. ej. calcopirita y galena) y baja cuando refleja menos de un 25 % (p.ej. esfalerita) (Fig. 2).

REFLECTIVIDAD	R (%)	MINERALES
Muy baja (ganga)	< 10 %	Fluorita Cuarzo Barita Carbonatos
Baja	15 – 25 %	Covellina (Cv) Goethita (Go) Esfalerita (Sl) Magnetita (Mag) Hematites (Hm)
Media	25 – 50 %	Calcosina (Cc) Calcopirita (Cpy) Galena (Ga)
Alta	50- 70 %	Marcasita (Mc) Pirita (Py)
Muy alta	> 70 %	Ag, Au y Cu nativo

**Tabla 1. Reflectividad de algunos minerales comunes.**

En un mineral con color no distinguible, si la reflectividad es alta se verá blanco brillante y gris si la reflectividad es baja (tanto más oscuro cuanto menor sea la reflectividad). Los minerales de la ganga, por tratarse normalmente de minerales transparentes, reflejan un porcentaje muy bajo de la luz que incide en ellos, por lo que aparecen con colores grises muy oscuros. En la Figura 3 se muestra un esquema para comprender la escala de reflectividad. En este esquema se representan cuatro ejemplos de la reflectividad que presentarían minerales transparentes, semiopacos y opacos en función de la intensidad incidente ( $I_i$ ), reflejada ( $I_r$ ) y transmitida ( $I_t$ ).



**Figura 2. Diferencias de reflectividad de pirita (Py; blanco amarillento), calcopirita (Cpy; amarillo, esfalerita (Sl; gris claro) y ganga (gris oscuro).**

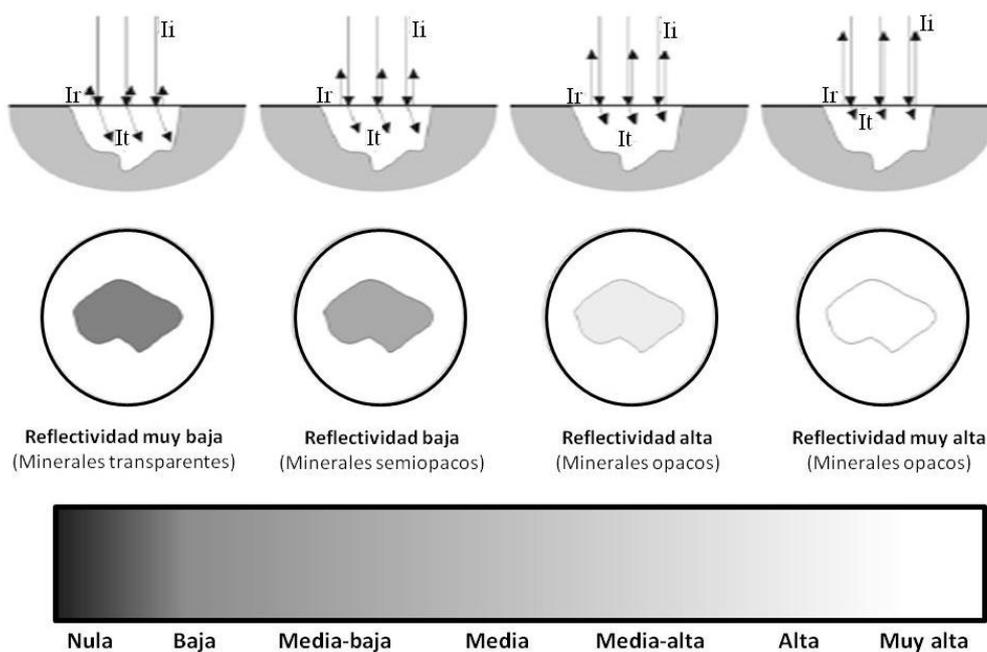


Figura 3. Escala de reflectividad y ejemplos para minerales transparentes, semiopacos y opacos. En el esquema Ii, Ir, It se refieren a la intensidad incidente, reflejada y transmitida respectivamente.

### Birreflectividad y pleocroísmo de reflexión

Cuando se observa un mineral con luz plana polarizada y se gira la platina del microscopio pueden producirse cambios en la reflectividad del mineral o en su color.

La variación en la reflectividad se denomina birreflectividad. La variación en el color (o en el tinte, p. ej., de gris azulado a gris) se denomina pleocroísmo de reflexión (Figs. 4 y 5). A veces se habla indistintamente de pleocroísmo o birreflectividad, englobando ambos fenómenos. Este fenómeno es análogo al pleocroísmo de los minerales transparentes, aunque es mucho menos acentuado que en aquéllos. Los minerales isótropos (y las secciones basales de los minerales uniáxicos) tienen un único valor de la reflectividad, por lo que nunca van a presentar ninguna de estas propiedades.

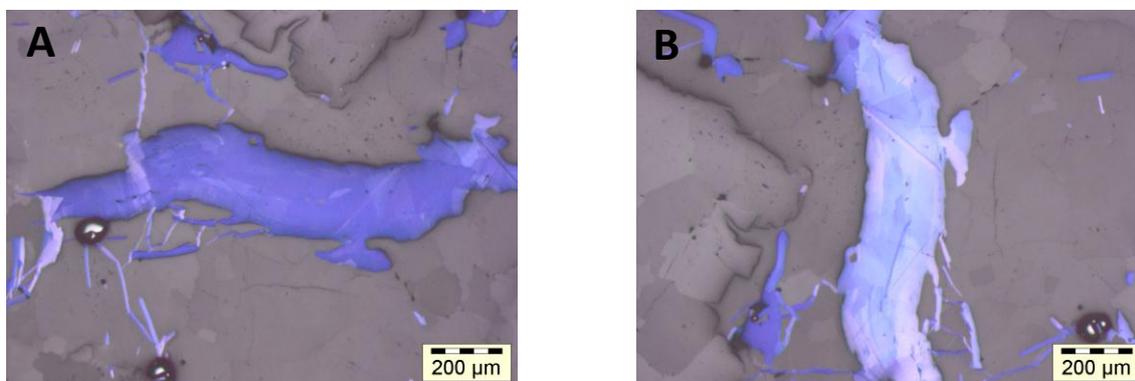


Figura 4. Pleocroísmo en la covellina. En la imagen B la platina se ha girado 90° para ver la variación en el color de azul oscuro a azul claro.

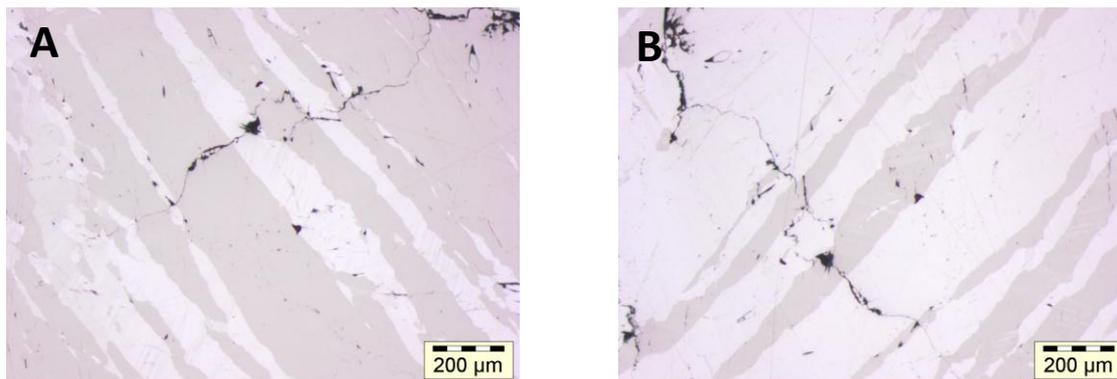


Figura 5. Birreflectividad en la estibina. En la imagen B la platina se ha girado 90° para ver la variación en la reflectividad.

### Dureza de pulido

Es la resistencia de la superficie de un mineral a la abrasión. Se mide cualitativamente. Durante el proceso de pulido, las muestras van a presentar un relieve diferencial debido a las distintas durezas de los minerales que la componen. Los minerales más duros son más resistentes al pulido y aparecen en relieve con respecto a los minerales más blandos. En la Figura 1 se puede apreciar la diferencia de relieve entre los granos de pirita (muy duros) y la covellina y calcosina (más blandos). Los muy duros, si están solos, pueden pulirse bien si el tiempo de pulido es suficiente. Los muy blandos siempre se pulen mal. Cuando en una muestra aparecen juntos minerales de durezas muy contrastadas, los minerales más blandos suelen presentar una superficie muy rayada (rayas de pulido), los de dureza media mostrarán un buen pulido (con pocas rayas de pulido), y los muy duros presentarán irregularidades en su superficie por un pulido insuficiente (Fig. 6).

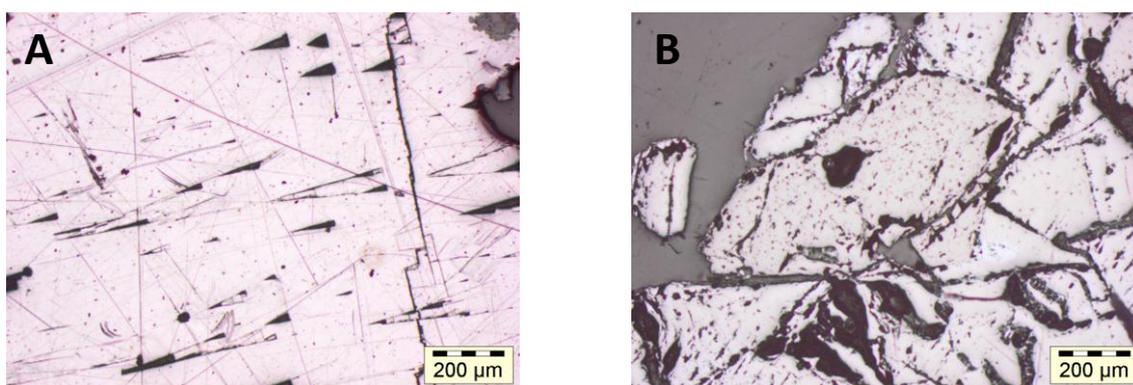


Figura 6. Diferencia en el pulido de minerales de durezas diferentes. A. Superficie de galena en la que se observan rayas de pulido debido a su dureza media a baja, así como marcas triangulares típicas de este mineral. B. Granos de ilmenita y magnetita (ambos de color gris claro) de dureza alta mostrando irregularidades en sus superficies debido a un pulido insuficiente.

El relieve de pulido da lugar a un fenómeno que se conoce como “línea de Kalb”, cuya apariencia es similar a la línea de Becke para minerales transparentes. En el contacto entre un mineral duro y otro más blando se va a originar una línea oscura cuando se encuentran perfectamente enfocados en el microscopio. Si se desenfoca ligeramente, aumentando la distancia entre la muestra y el objetivo, aparece a lo largo del contacto una línea brillante que “invade” al mineral de menor dureza.

En la Figura 7 se observa que los óxidos tienen elevada dureza y valores bajos de reflectividad. Del mismo modo, los metales nativos son minerales con baja dureza que presentan valores muy elevados de reflectividad. Para los sulfuros, el intervalo de variación de dureza y reflectividad es mucho más amplio, existiendo tanto minerales con elevada dureza y alta reflectividad (p. ej., pirita), como otros con menor dureza y valores más bajos de reflectividad (p. ej., covellina).

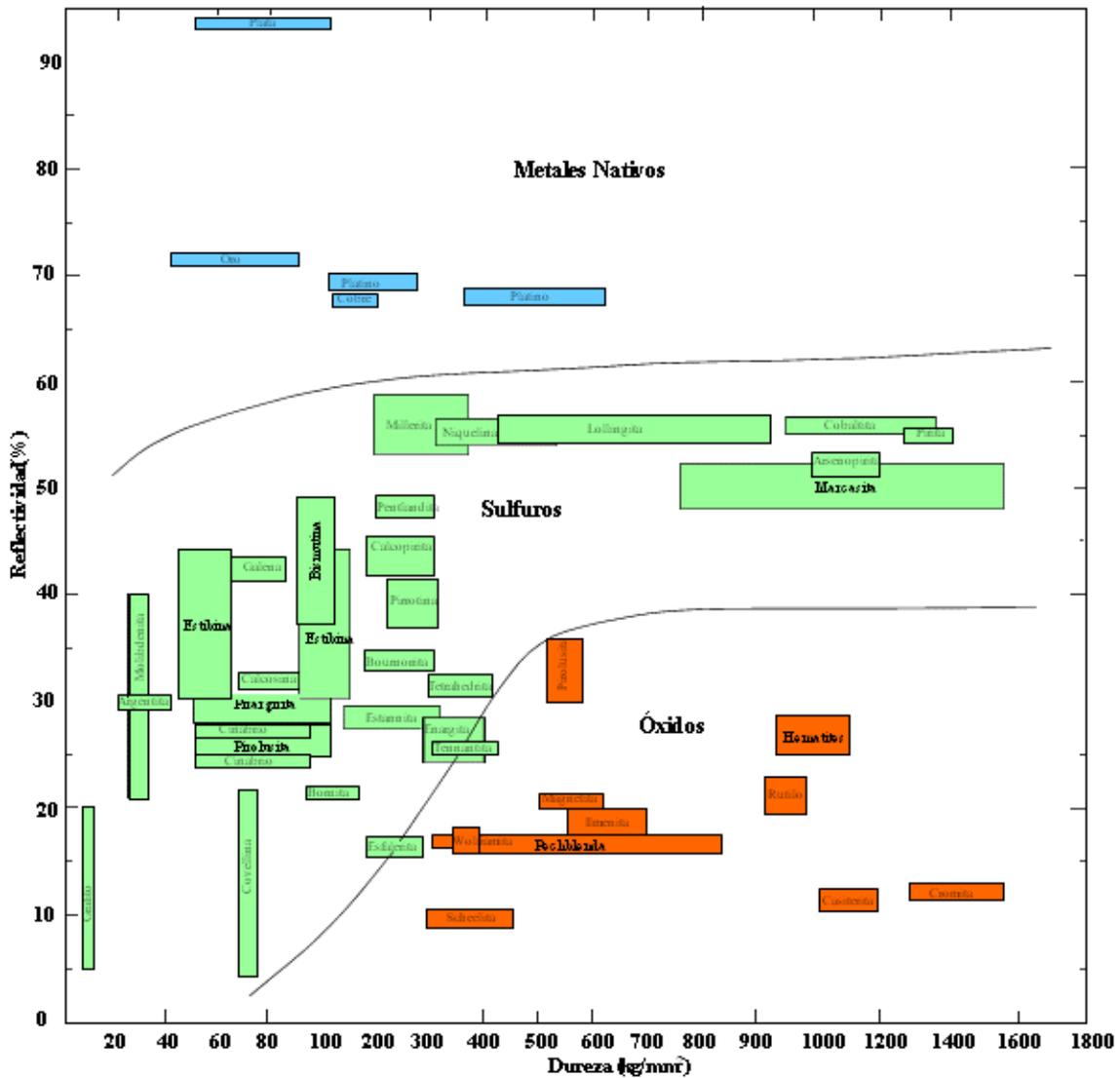


Figura 7. Relación entre dureza y reflectividad para algunos minerales opacos comunes.

Para determinar cualitativamente la dureza de un mineral puede usarse una escala de comparación basada en minerales muy comunes:

- < galena
- ≅ galena
- > galena y < calcopirita
- ≅ calcopirita
- > calcopirita y < pirita
- > pirita

### Color de anisotropía o de polarización

Es el color o colores que se observan en un mineral al girar la platina con nícoles cruzados. La Figura 8 muestra la anisotropía extrema en colores naranjas de la covellina.

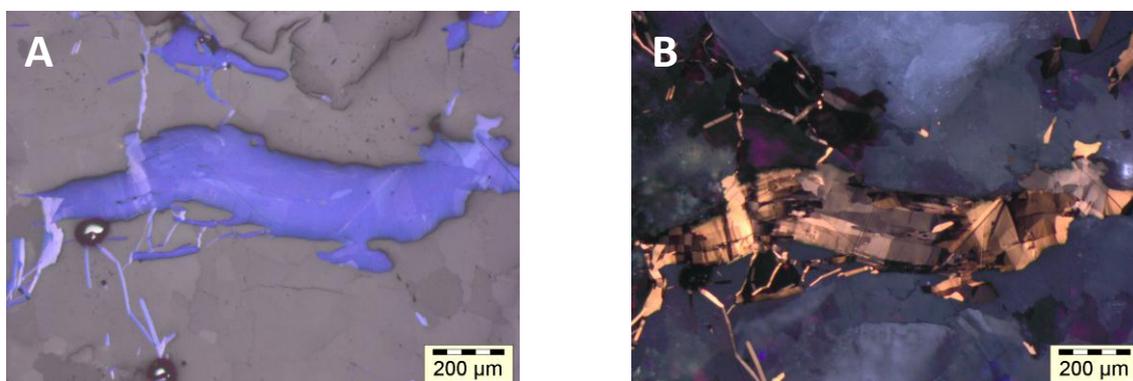


Figura 8. A. Imagen tomada sin analizador en la que se aprecia el pleocroísmo de la covellina. B. Imagen tomada con analizador en la que se pueden ver los colores de anisotropía naranjas característicos.

### Isotropía/anisotropía

La isotropía de un mineral se pone de manifiesto porque el color de polarización no cambia al girar la platina (p. ej., galena, esfalerita). Habitualmente, un mineral opaco isótropo no se ve negro (como ocurre en los minerales isótropos transparentes), simplemente no cambia de color.

La anisotropía se observa cuando al girar la platina con nícoles cruzados el color de polarización varía (p. ej., estibina, grafito). En la figura 9, la marcasita presenta colores de anisotropía desde azul intenso a morado y verde según su orientación. En un mineral opaco anisótropo, no se observan cuatro posiciones de extinción y otras cuatro de máxima iluminación, como ocurre en los minerales anisótropos transparentes, sino que cambia de color. Al microscopio de luz reflejada, un mineral opaco se puede definir como isótropo, débilmente anisótropo o anisótropo.

Para diferenciar un mineral isótropo de uno débilmente anisótropo, generalmente es necesario girar el polarizador 4-5°, de forma que analizador y polarizador no estén totalmente perpendiculares.

La anisotropía y la birreflectividad son propiedades relacionadas. Un mineral anisótropo es necesariamente birreflectivo, y cuanto mayor sea su birreflectividad más acusada será su anisotropía.

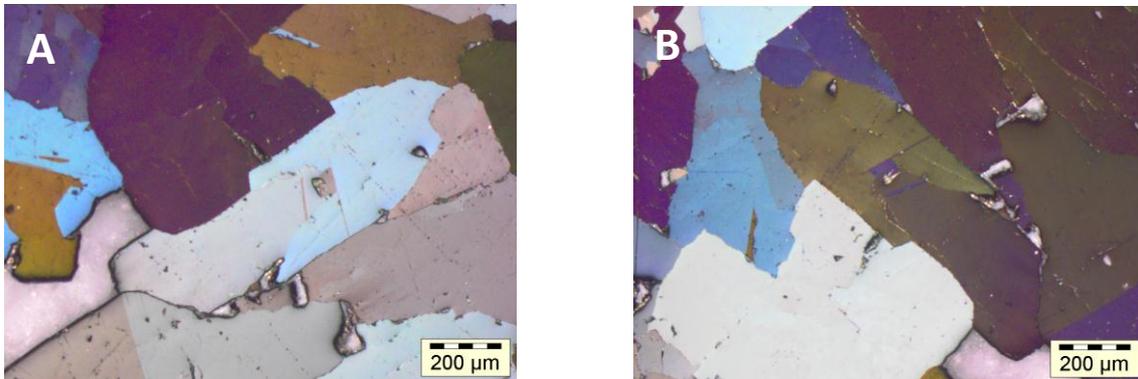


Figura 9. Colores de anisotropía en la marcasita. En la imagen B la foto se tomó después de girar 90° la platina para ver la variación de color.

### Reflexiones internas

Las presentan todos los minerales que no son completamente opacos. Se producen como consecuencia de la reflexión de la luz en planos internos de la muestra (fracturas, planos de exfoliación, etc.). La mayor parte de los minerales transparentes presentan esta propiedad. Sin embargo, sólo aparece en algunos minerales opacos, por lo que suele resultar muy útil para su identificación.

El grado de transparencia se halla en relación inversa a su poder de absorción y, por tanto, a su reflectividad. Así, los minerales con elevada reflectividad ( $R > 50\%$ ) no presentan reflexiones internas. Los minerales de reflectividad media (25-50 %) pueden presentar ocasionalmente reflexiones internas (p. ej., cinabrio). Los minerales de baja reflectividad (p. ej., esfalerita, casiterita) presentan con mucha frecuencia esta propiedad.

Las reflexiones internas se observan con mayor facilidad en los bordes de grano y son generalmente blancas o de colores variados (irisadas) para los minerales transparentes de la ganga (Figs. 10, 11), y pardas, pardo-rojizas o rojas para los minerales opacos más comunes (Fig. 12).

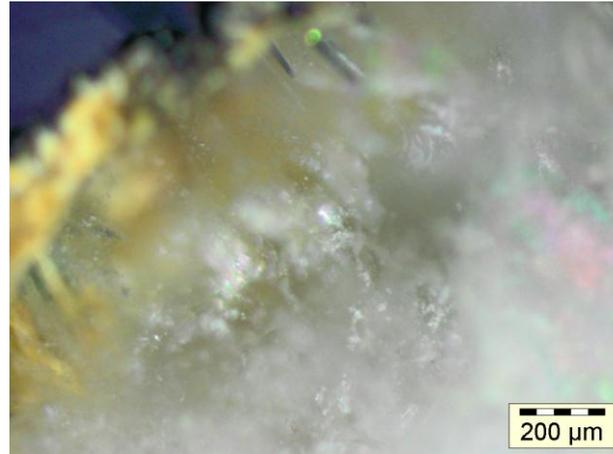


Figura 10. Reflexiones blancas e irisadas de los minerales transparentes de la ganga.

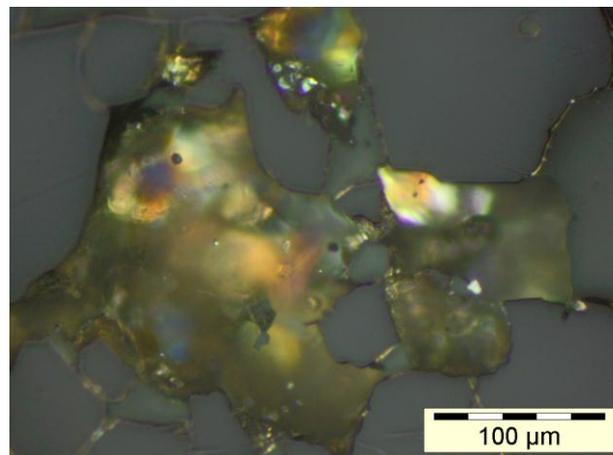


Figura 11. Reflexiones de colores variados (irisadas) de los minerales transparentes de la ganga. Estos minerales aparecen rodeados de minerales opacos alotriomorfos sin reflexiones internas. Además, los minerales opacos son isótropos porque no hay variación en el color al girar la platina.

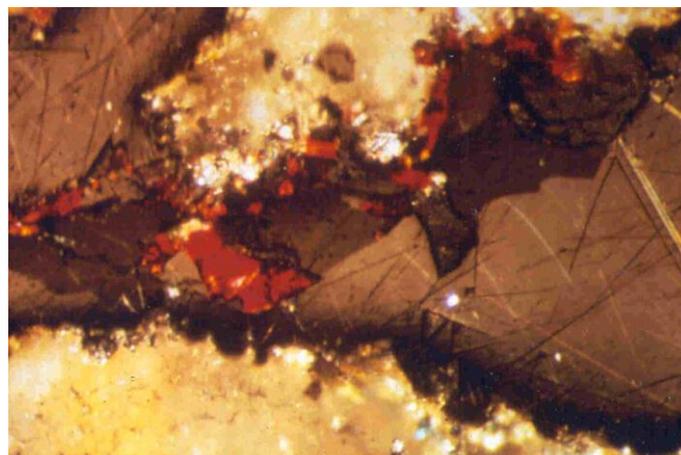


Figura 12. Imagen con nicoles cruzados de minerales de la serie proustita-pirargirita en la que se aprecian las reflexiones internas de color rojo características de estos minerales. En la parte inferior y superior se observan numerosas reflexiones internas de color blanco correspondientes a minerales de la ganga.

## Maclado

En los cristales anisótropos, debido a la diferente orientación de los individuos que componen la macla, éstas se reconocen fácilmente. Esta propiedad es muy útil en el reconocimiento de determinados minerales opacos, como la estibina que suele presentar un maclado polisintético debido a fenómenos de deformación (Fig. 13).

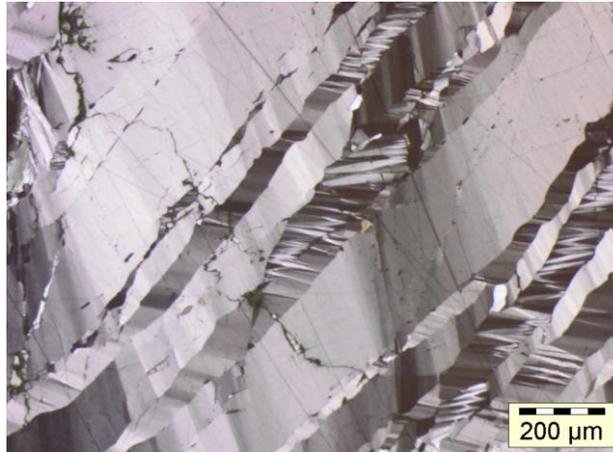


Figura 13. Maclado polisintético en estibina.

## IDENTIFICACIÓN DE LOS MINERALES OPACOS

Para la identificación de los minerales opacos es necesario determinar sus propiedades ópticas. Una vez observadas estas propiedades puede identificarse el mineral con la ayuda de tablas, como las de la Figura 14 (Schouten, 1962).

En primer lugar hay que utilizar el color como criterio de discriminación. Posteriormente, se requieren otras propiedades como la reflectividad, la dureza, etc. Así, se consigue encuadrar el mineral problema entre un número reducido de minerales con propiedades semejantes, de los cuales los más frecuentes aparecen con letra MAYÚSCULA. Algunos minerales pueden aparecer en más de una tabla debido a la variación de sus propiedades ópticas.

<b>COLOR DISTINGUIBLE</b>	<b>AZUL</b>	Isótropo.....	.....1a		
			Anisótropo	Con refl. internas.....	1b
		Sin refl. internas		Pleocr. fuerte.....	1c
				Pleocr. débil o ausente.....	1d
	<b>VERDE</b>	Isótropo.....	.....2a		
			Anisótropo.....	2b	
	<b>MARRÓN</b>	Isótropo.....	.....3a		
			Anisótropo.....	Dureza alta.....	3b
		Dureza media.....		3c	
		Dureza baja.....		3d	
	<b>AMARILLO</b>	Isótropo.....	.....4a		
			Anisótropo.....	Dureza alta.....	4b
		Dureza media.....		4c	
		Dureza baja.....		4d	
	<b>ROSA, PÚRPURA, VIOLETA</b>	Isótropo.....	.....5a		
			Anisótropo	Reflec. alta.....	Pleocr. fuerte.....
				Pleocr. débil.....	5c
		Reflec. media.....		.....5d	
		Reflec. baja.....		Pleocr. fuerte.....	5e
		Pleocr. débil.....	5f		
<b>SIN COLOR DISTINGUIBLE</b>	Reflectividad alta.....		Dureza alta.....	6a	
			Dureza media.....	6b	
			Dureza baja.....	6c	
	Reflectiv. baja	Dureza alta	Reflex. internas fuertes o distinguibles.....	.....7a	
				Isótropo.....	7b
				Anisótropo.....	7c
		Dureza media o baja	Reflex. int. fuertes o dist.	Dureza media.....	8a
				Dureza baja.....	8b
		Pleocroísmo fuerte.....	8c		
		Isótropo.....	8d		
		Anisótropo.....	8e		
	Reflectividad Media	Reflexiones internas muy fuertes.....	.....9		
			Pleocroísmo fuerte.....	10	
		Isótropo	Dureza media.....	11a	
			Dureza baja.....	11b	
Anisótropo		Anisotropía débil.....	.....12a		
			Anisotr. disting.	Dureza media.....	12b
		Dureza baja.....		12c	
		Anisotr. fuerte		Dureza media.....	12d
			Dureza baja.....	12e	

Figura 14. Tablas de identificación de minerales opacos en luz reflejada (Schouten, 1962).

## PRÁCTICA

1. Identifica los elementos que posee el microscopio de luz reflejada:

- Fuente de alimentación.
- Filtros.
- Polarizador.
- Analizador.
- Voltímetro.

2. Propiedades ópticas de los minerales opacos:

SIN ANALIZADOR	CON ANALIZADOR

3. Diferencia los minerales transparentes (ganga) de los minerales opacos (mena) a simple vista y bajo la luz reflejada.

3.1. Identifica las reflexiones internas de la ganga.

3.2. ¿De qué color son?

Para ello, elige una probeta de las que se proponen a continuación:

**Grupo I** (Molibdenita, Casiterita y Wolframita): A14 – A19.

4. Identifica las reflexiones internas en los minerales opacos. Recuerda que se ven mejor en los bordes de grano.

4.1. ¿De qué color son?

4.2. Compáralas con las reflexiones internas de los minerales de la ganga.

**Grupo II** (goethita): A35, A36 y A39.

**Grupo III** (esfalerita): A10 y A12.

5. Busca un mineral isótropo y otro anisótropo en una de las siguientes probetas:

**Grupo IV:** A42 y A45.

**Grupo V:** A24 – A27.

5.1. En el mineral anisótropo, ¿cuál es el color o colores de anisotropía o de polarización?

6. Identifica el maclado en los minerales que aparecen en las siguientes probetas:

**Grupo VI (estibina):** A15, A30 – A34.

7. Elige una probeta de cada grupo de los que se proponen a continuación y completa la tabla.

**Grupo IV:** A42 y A45.

**Grupo V:** A24 – A27.

**Grupo VII:** A8 y A11.

**Grupo VIII:** A46 – A54

<b>Nº Probeta:</b>	<b>MINERAL I</b>	<b>MINERAL II</b>	<b>MINERAL III</b>
<b>COLOR</b>			
<b>REFLECTIVIDAD</b>			
<b>PLEOCROÍSMO</b>			
<b>GRADO PLEOCROÍSMO</b>			
<b>DUREZA RELATIVA</b>			
<b>ISÓTROPO/ANISÓTROPO</b>			
<b>COLOR POLARIZACIÓN</b>			
<b>GRADO ANISOTROPÍA</b>			
<b>REFLEXIONES INTERNAS</b>			
<b>MACLADO</b>			
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			

<b>Nº Probeta:</b>	<b>MINERAL I</b>	<b>MINERAL II</b>	<b>MINERAL III</b>
<b>COLOR</b>			
<b>REFLECTIVIDAD</b>			
<b>PLEOCROISMO</b>			
<b>GRADO PLEOCROISMO</b>			
<b>DUREZA RELATIVA</b>			
<b>ISÓTROPO/ANISÓTROPO</b>			
<b>COLOR POLARIZACIÓN</b>			
<b>GRADO ANISOTROPÍA</b>			
<b>REFLEXIONES INTERNAS</b>			
<b>MACLADO</b>			
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			

8. ¿Hay algún mineral isótropo en las probetas que has observado en el ejercicio 7? ¿Presenta birreflectividad? ¿Por qué?

9. ¿Cuál es el mineral más duro en cada una de las probetas que has elegido en el ejercicio 7? ¿Qué diferencias ves entre las superficies de los minerales más blandos y los más duros?

### BIBLIOGRAFÍA

Schouten, C. 1962. *Determination tables for ore microscopy*. Elsevier. Amsterdam. 242 pp.

### BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

Bastin, E.S. 1950. *Interpretation of ore textures*. Geol. Soc. Am. Memoir, 45, 101 p.

Ineson, P.R. 1989. *Introduction to practical ore microscopy*. Longman, London.

Ixer R.A. 1991. *Atlas of Opaque and Ore Minerals in Their Associations*. Van Nostrand Reinhold.

Picot, P. y Johan, Z. 1982. *Atlas of ore minerals*. BRGM. Elsevier, Orleans, Amsterdam, 458 pp.

### RECURSOS ELECTRÓNICOS

Atlas of Opaque and Ore Minerals in Their Associations. Fecha de consulta: Marzo 2011.

Disponible en: <http://www.smenet.org/opaque-ore/>

CSIRO Exploration & Mining. Fecha de consulta: Marzo 2011. Disponible en:

<http://www.dem.csiro.au/>

Introduction to ore microscopy. Fecha de consulta: Marzo 2011. Disponible en:

<http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques-menu.html>

Virtual Atlas of Opaque and Ore Minerals. Fecha de consulta: Marzo 2011. Disponible

en: <http://www.smenet.org/opaque-ore/>

WebMineral. Fecha de consulta: Marzo 2011. Disponible en:

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

Recibido: 23 marzo 2011.

Aceptado: 11 octubre 2011.