

# PRÁCTICAS DE MINERALOGÍA II (NO SILICATOS)

*PROFESORES:*

*FRANCISCO JAVIER LUQUE DEL VILLAR  
JOSEFINA SIERRA LÓPEZ*

**DESCRIPCIÓN DE "VISU" DE LOS  
MINERALES**

# ELEMENTOS NATIVOS

## ORO

**Color:** Amarillo.

**Raya:** Amarilla brillante.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 2.5

**Densidad:** 19.3 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Diseminado en láminas, escamoso o masivo.

**Otras características:** Ductilidad y maleabilidad.

## PLATA

**Color:** Blanco de plata.

**Raya:** Blanco de plata.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 2.5 a 3

**Densidad:** 10.5 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Muy raramente presenta cristales. Habitualmente forma agregados filamentosos, placas y escamas. A veces también masivo, rellenando fracturas y vetas.

**Otras características:** Ductilidad y maleabilidad, pátina negra en superficie.

## MERCURIO

**Color:** Blanco de plata.

**Brillo:** Metálico.

**Densidad:** 13.6 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En pequeñas gotas sobre cinabrio o calcita.

**Otras características:** Único metal líquido en condiciones de presión y temperatura ambiente.

## BISMUTO

**Color:** Blanco rojizo o amarillento.

**Raya:** Blanco plata.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 2 a 2.5

**Densidad:** 9.8 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Conductor, séctil y frágil.

**Hábito:** Normalmente se presenta en forma laminar o granular.

## AZUFRE

**Color:** Amarillo.

**Raya:** Amarillo claro.

**Brillo:** Graso o sedoso.

**Dureza:** 1.5 a 2.5

**Densidad:** 2.07 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Fractura concoidea.

**Hábito:** Cristales con formas piramidales o bipiramidales. Normalmente en masas irregulares, como incrustaciones y terroso.

## **GRAFITO**

**Color:** Gris plomo.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Submetálico.

**Dureza:** 1 a 2

**Densidad:** 2.23 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Tizna el papel y los dedos.

**Hábito:** Cristales laminares, siendo frecuentes masas hojosas, escamosas y radiadas.

## **SULFUROS Y SULFOSALES**

### **ARSENOPIRITA**

**Color:** Blanco de plata.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 5.5 a 6

**Densidad:** 6 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Cristales prismáticos. También en formas masivas.

### **BORNITA**

**Color:** De rojo púrpura a bronce pardo.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 3

**Densidad:** 5.07 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Pátina roja con irisaciones.

**Hábito:** Generalmente masiva o como recubrimiento de alteración.

### **CALCOPIRITA**

**Color:** Amarillo latón a amarillo verdoso.

**Raya:** Negro verdosa.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 4.3 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Se altera superficialmente con cierta facilidad, dando pátinas irisadas.

**Hábito:** La mayoría de las veces se la encuentra en forma masiva. Los cristales suelen aparecer maclados y con hábito piramidal.

### **CALCOSINA**

**Color:** Gris plomo o negro.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Metálico. Cuando se expone a la luz adquiere una pátina mate.

**Dureza:** 2.5 a 3

**Densidad:** 5.6 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Comúnmente en forma masiva o compacto.

## COVELLINA

**Color:** Azul añil.

**Raya:** Gris o negra.

**Brillo:** Submetálico.

**Dureza:** 1.5 a 2.

**Densidad:** 4.65 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Por lo general masiva o como reemplazamiento de minerales primarios de cobre (calcopirita).

## CINABRIO

**Color:** Rojo intenso.

**Raya:** Roja más clara.

**Brillo:** De adamantino a térreo.

**Dureza:** 2.5

**Densidad:** 8.1 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** La forma más frecuente de presentarse es en masas granulares. Normalmente se presenta impregnando cuarcitas. Cristales raros de hábitos tabulares o romboédricos.

## ESFALERITA

**Color:** De caramelo (blenda acaramelada) a castaño, negro.

**Raya:** Pardo claro.

**Brillo:** Resinoso.

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 4 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Generalmente en masas de aspecto espático (blenda acaramelada) o granudo.

## ESTIBINA (ANTIMONITA)

**Color:** Gris plomo.

**Raya:** Gris plomo.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 2

**Densidad:** 4.6 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Alteración frecuente a especies en general llamadas ocre de antimonio.

**Hábito:** En cristales prismáticos delgados que llegan a ser aciculares. Más raramente en formas hojosas, masivas o granudas.

## GALENA

**Color:** Gris plomo.

**Raya:** Gris oscura.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 2

**Densidad:** 7.5 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** La forma más corriente de presentarse es el cubo, el cual aparece con aristas biseladas o vértices truncados, llegando a la forma octaédrica. Exfoliación cúbica muy evidente.

## MARCASITA

**Color:** Amarillo verdoso, a veces casi blanco.

**Raya:** Gris oscura, casi negra.

**Brillo:** Metálico. Pátinas iridiscentes.

**Dureza:** 6 a 6.5

**Densidad:** 4.9 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Macla en "cresta de gallo".

**Hábito:** Cristales tabulares paralelos al plano basal; prismas cortos.

## MOLIBDENITA

**Color:** Gris de plomo algo azulado.

**Raya:** Negra grisácea o verdosa.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 1 a 1.5

**Densidad:** 4.65 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Tacto graso, flexible y superficie escamosa.

**Hábito:** En placas hexagonales o prismas cortos o en masas escamosas compactas.

## PIRITA

**Color:** Amarillo latón.

**Raya:** Gris oscura a pardo negruzca.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 6 a 6.5

**Densidad:** 5.02 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Alteración superficial a limonita (mezcla de oxi-hidróxidos de hierro).

**Hábito:** Es uno de los minerales que cristalizan con mayor facilidad. Son típicos los cubos más o menos equidimensionales, el octaedro y el pentagonododecaedro (o piritoedro). También en formas masivas granudas.

## PIRROTITA (PIRROTINA)

**Color:** Bronce pardo.

**Raya:** Negra verdosa.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 4

**Densidad:** 4.6 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Es magnética.

**Hábito:** Normalmente como masas granudas.

## REJALGAR

**Color:** Rojo o naranja.

**Raya:** Amarilla.

**Brillo:** Resinoso.

**Dureza:** 1.5 a 2

**Densidad:** 3.48 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Tóxico por ingestión.

**Hábito:** La mayoría de las veces se presenta en forma masiva con aspecto terroso. Raramente en cristales prismáticos cortos y estriados verticalmente.

## **TETRAEDRITA-TENNANTITA (COBRES GRISES)**

**Color:** Gris a negro.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 3-4.5

**Densidad:** 4.5-5.2 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Cristales tetraédricos. Masas granudas.

## **OXIDOS E HIDRÓXIDOS**

### **HEMATITES**

**Color:** Gris a negro en las variedades cristalinas (oligisto); normalmente rojo en las variedades terrosas (ocres rojos).

**Raya:** Roja.

**Brillo:** Metálico a térreo.

**Dureza:** 5 a 6

**Densidad:** 5.26 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** En las variedades cristalinas pueden aparecer irisaciones.

**Hábito:** Cristales generalmente tabulares o formando rosetas. En masas botrioidales o reniformes con estructura radiada. También laminar y terroso. Oolitos.

### **PIROLUSITA**

**Color:** Negro.

**Raya:** Negra

**Brillo:** Metálico o terroso

**Dureza:** 1 a 2.

**Densidad:** 5.1 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Normalmente en fibras o en agregados dendríticos.

### **CASITERITA**

**Color:** De negro a blanco pasando por pardo que es el más corriente.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Adamantino craso, resinoso.

**Dureza:** 6 a 7.

**Densidad:** 7 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Masivo o granular. Cristales prismáticos o bipiramidales, siendo frecuente la macla en “pico de estaño”.

### **MAGNETITA**

**Color:** Negro.

**Raya:** Negra.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 5 a 6.5

**Densidad:** 5.2 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Fuertemente magnético.

**Hábito:** Cristales octaédricos. Masivo o diseminado en agregados granudos compactos, también en arenas sueltas magnéticas.

## **CROMITA**

**Color:** Negro a pardo oscuro.

**Raya:** Pardo oscura.

**Brillo:** Metálico.

**Dureza:** 5.5

**Densidad:** 4.6 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En pequeños cristales octaédricos, aunque más frecuentemente masivo o granular.

## **GOETHITA**

**Color:** Negro, pardo o amarillento.

**Raya:** Parda amarillenta.

**Brillo:** Adamantino a terroso mate.

**Dureza:** 5 a 5.5

**Densidad:** 4.37 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Generalmente masivo, con hábitos botrioidales. También estalactítica y oolítica.

# **HALOGENUROS**

## **CARNALITA**

**Color:** Blanco si bien suele presentar tonalidades rojizas debido a la presencia de hematites.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 1.

**Densidad:** 1.6 g/cm<sup>3</sup>.

**Otras características:** Sabor amargo. Higroscópico.

**Hábito:** Generalmente masivo o granular.

## **FLUORITA**

**Color:** Muy variado, siendo los más comunes el violeta, el verde y el amarillo.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 4

**Densidad:** 3.18 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** En algunos casos puede ser fluorescente.

**Hábito:** Cristales de con forma de cubo muy bien formados, a veces formando drusas. Exfoliación octaédrica perfecta. También masivo, compacto o granular.

## **HALITA**

**Color:** Normalmente blanca e incolora, a veces azul o amarillo.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo algo mate.

**Dureza:** 2 a 2.5

**Densidad:** 2.16 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Sabor salado.

**Hábito:** En cristales de hábito cúbico. También masivo microcristalino. Cristales en tolva.

## SILVINA

**Color:** Transparente o blanco. Las coloraciones (roja la más frecuente) son debidas a las impurezas.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 2

**Densidad:** 1.99 g/cm<sup>3</sup>

**Otras características:** Sabor picante.

**Hábito:** En masas cristalinas granulares, con exfoliación cúbica. Rara vez en cristales.

## CARBONATOS

### CALCITA

**Color:** Incolora transparente (espató de Islandia) o blanca. La presencia de impurezas le proporciona distintas coloraciones.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 3

**Densidad:** 2.71 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Es el mineral que presenta una mayor variedad de formas y hábitos. En escalenoedros agudos. También romboedros muy típicos como productos de exfoliación. En formas masivas espáticas, fibrosas, columnares, estalactíticas, granulares y pulverulentas. Maclas frecuentes.

### MAGNESITA

**Color:** Blanco grisáceo o crema.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 3.5 a 4.5

**Densidad:** 3 a 3.48 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Normalmente en masas espáticas compactas, finamente granudas, así como lamelar o fibroso.

### SIDERITA

**Color:** Amarillento a pardo muy oscuro

**Raya:** Blanca o amarilla.

**Brillo:** Vítreo, en ocasiones nacarado.

**Dureza:** 4 a 4.5

**Densidad:** 3.96 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En romboedros, en ocasiones con caras curvas, recordando a una silla de montar, como ocurre en la dolomita. También en masas espáticas de grano grueso o como agregados escamosos.

### DOLOMITA

**Color:** Blanco grisáceo.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo algo perlado.

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 2.86 a 3.10 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Cristales de hábito romboédrico, por lo general deformados, aplastados, o en formas masivas.

## ARAGONITO

**Color:** Blanco es el más frecuente. También violáceo, marrón, negro, azul o verde.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 2.94 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En cristales rómbicos sencillos o con macla múltiple dando un aspecto de prisma hexagonal. En formas coraloides, fibroso o fibrosorradiado, estalactítico.

## CERUSITA

**Color:** Incoloro o blanco crema.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Adamantino, vítreo, resinoso o nacarado.

**Dureza:** 3 a 3.5

**Densidad:** 6.4 a 6.6 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En cristales de hábito rómbico muy frágiles o en agregados. También en masas granudas grises y en masas cristalinas aciculares con aspecto de pajuelas.

## AZURITA

**Color:** Diversas tonalidades de azul.

**Raya:** Azul claro.

**Brillo:** Adamantino a térreo

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 3.8 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Normalmente en forma de costras o recubrimientos. También masivo, compacto, o terroso. Ocasionalmente como agregados radiales de cristales.

**Otras características:** Asociada a malaquita y otros minerales secundarios de cobre.

## MALAQUITA

**Color:** Distintas tonalidades de verde.

**Raya:** Verde pálida.

**Brillo:** Adamantino, sedoso o mate.

**Dureza:** 3.5 a 4

**Densidad:** 3.9 a 4.1 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Formando costras y recubrimientos. En masas botrioidales y estalactíticas, con estructura fibroso radiada o capas concéntricas. Compacta terrosa.

## FOSFATOS, ARSENIATOS

### APATITO

**Color:** Tonalidades verdosas o pardas; también azul, violeta. De transparente a traslúcido.

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo a céreo

**Dureza:** 5

**Densidad:** 3.2 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En cristales de hábito prismático corto o tabulares, terminados a veces en pirámides. También en masas granulares o compactas.

## **ERITRINA**

**Color:** Diversas tonalidades rosas, violáceo.

**Raya:** Rosa.

**Brillo:** Adamantino a vítreo.

**Dureza:** 4.5 a 5.

**Densidad:** 4 a 4.6 g/cm<sup>3</sup>.

**Hábito:** Generalmente en forma de finos cristales aciculares muy finos, formando agregados radiados o como costras.

## **SULFATOS**

### **BARITINA**

**Color:** Blanco, grisáceo, pardo amarillento.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo a perlado.

**Dureza:** 3 a 3.5

**Densidad:** 4.5 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Normalmente en cristales rómbicos tabulares. En masas granudas, fibrosas o compactas.

### **CELESTINA**

**Color:** Incoloro con tinte azulado, blanco, gris y, menos frecuentemente, verde y anaranjado.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo o perlado.

**Dureza:** 3 a 3.5

**Densidad:** 3.96 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Agregados fibrosorradiados y granulares. Masivo. En cristales tabulares o prismáticos.

### **ANHIDRITA**

**Color:** Incoloro a azulado o violeta. Puede ser también blanco.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo a perlado en las caras de exfoliación.

**Dureza:** 3.5

**Densidad:** 3.9 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Compacto con textura marmórea o sacaroidea. En agregados granudos y aciculares.

### **YESO**

**Color:** Incoloro, blanco, gris; diversas tonalidades de amarillo a rojo castaño por causa de impurezas.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo y sedoso en los cristales. Nacarado en superficies de exfoliación.

**Dureza:** 2

**Densidad:** 2.32 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En cristales tabulares de gran tamaño. En masas espáticas o micáceas transparentes (espejuelo), masivo o granudo microcristalino (alabastro). Son frecuentes las formas fibrosas. Frecuentes maclas en punta de flecha.

# WOLFRAMATOS

## **WOLFRAMITA**

**Color:** Negro.

**Raya:** Negra pardusca.

**Brillo:** Metálico o resinoso.

**Dureza:** 4 a 4.5

**Densidad:** 7 a 7.5 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** En cristales de hábito prismático. También en formas hojosas, laminares o columnares.

## **SCHEELITA**

**Color:** Blanco amarillento.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo o adamantino.

**Dureza:** 4.5 a 5

**Densidad:** 5.9 a 6.1 g/cm<sup>3</sup>

**Hábito:** Normalmente masivo granular. Cristales bipiramidales, en ocasiones de apariencia octaédrica.

**Otras características:** Es fluorescente a la luz ultravioleta.

**Génesis:** Hidrotermal de alta temperatura, asociado a wolframita. En pegmatitas graníticas.

# **MICROSCOPIA DE LUZ REFLEJADA**

# MICROSCOPIA DE LUZ REFLEJADA

## ***1.- 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). La principal diferencia estriba en la forma en la que la luz llega a la muestra, ya que en este microscopio la luz se hace incidir desde arriba y se refleja en la superficie de la preparación.

## ***2.- 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 la máxima reflectividad posible.

Al microscopio de luz reflejada, las fases transparentes van a aparecer de 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 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,...), pero normalmente sólo vamos a observar distintos tonos que abarcan toda la gama entre el blanco y el gris.

## ***3.- 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 el analizador*** (es decir, usando sólo el polarizador). Equivaldría a las observaciones con nícoles paralelos en el microscopio de luz transmitida. Con esta disposición del microscopio pueden determinarse las siguientes propiedades:

- a) Color.
- b) Reflectividad.
- c) Birreflectividad y pleocroísmo de reflexión.
- d) Dureza de pulido.

- *Con el analizador insertado a 90° del polarizador.* Las observaciones serían equivalentes a las realizadas con nícoles cruzados en el microscopio petrográfico. Pueden observarse las siguientes propiedades:

- e) Colores de polarización.
- f) Isotropía/anisotropía.
- g) Reflexiones internas.
- h) Maclado

#### ***4.- Propiedades ópticas de los minerales opacos.***

##### *a) 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” (p. ej., galena, esfalerita, estibina, etc.). Otros, por el contrario, presentan colores bien definidos: azul (covellina), amarillo (calcopirita), rosa (niquelina), etc. 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 mostrar un color amarillo si aparece en contacto con minerales de color no distinguible, o blanca si está en contacto con calcopirita); también es función de la iluminación, por lo que siempre se debe realizar esta observación del color en las mismas condiciones; por último, el color también depende de la calidad del pulido, siendo tanto más claro cuanto más pulido esté el mineral.

El color que presentan 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.

##### *b) 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) y de 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”. Se considera reflectividad alta cuando el mineral refleja más del 50% de la luz que recibe (p. ej., pirita), media entre el 25 y el 50% (p. ej., calcopirita, galena), y baja si es inferior al 25% (p. ej., esfalerita). 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.

c) 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. 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.

d) 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. 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. 1).

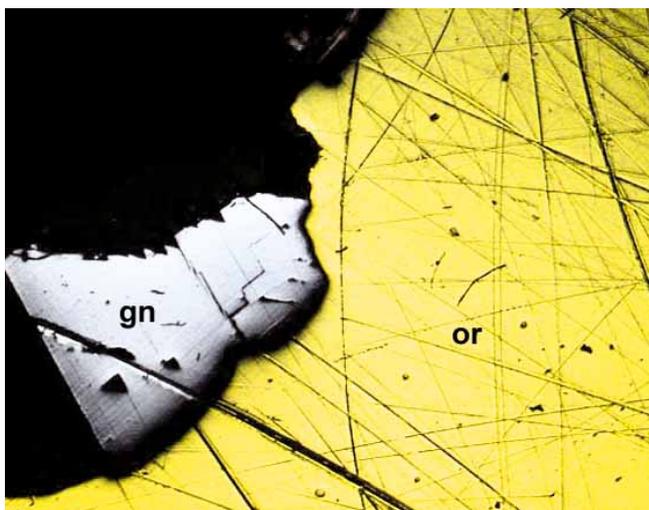


Fig. 1.- Diferencia en la dureza de pulido entre un mineral muy blando, con muchas rayas de pulido (oro, **or**) y un mineral de mayor dureza relativa (galena, **gn**).

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 (ver foto en la descripción de la calcopirita). 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 2 se observa que los óxidos tienen elevada dureza y valores bajos de reflectividad. Del mismo modo, los metales nativos, minerales con baja dureza, 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).

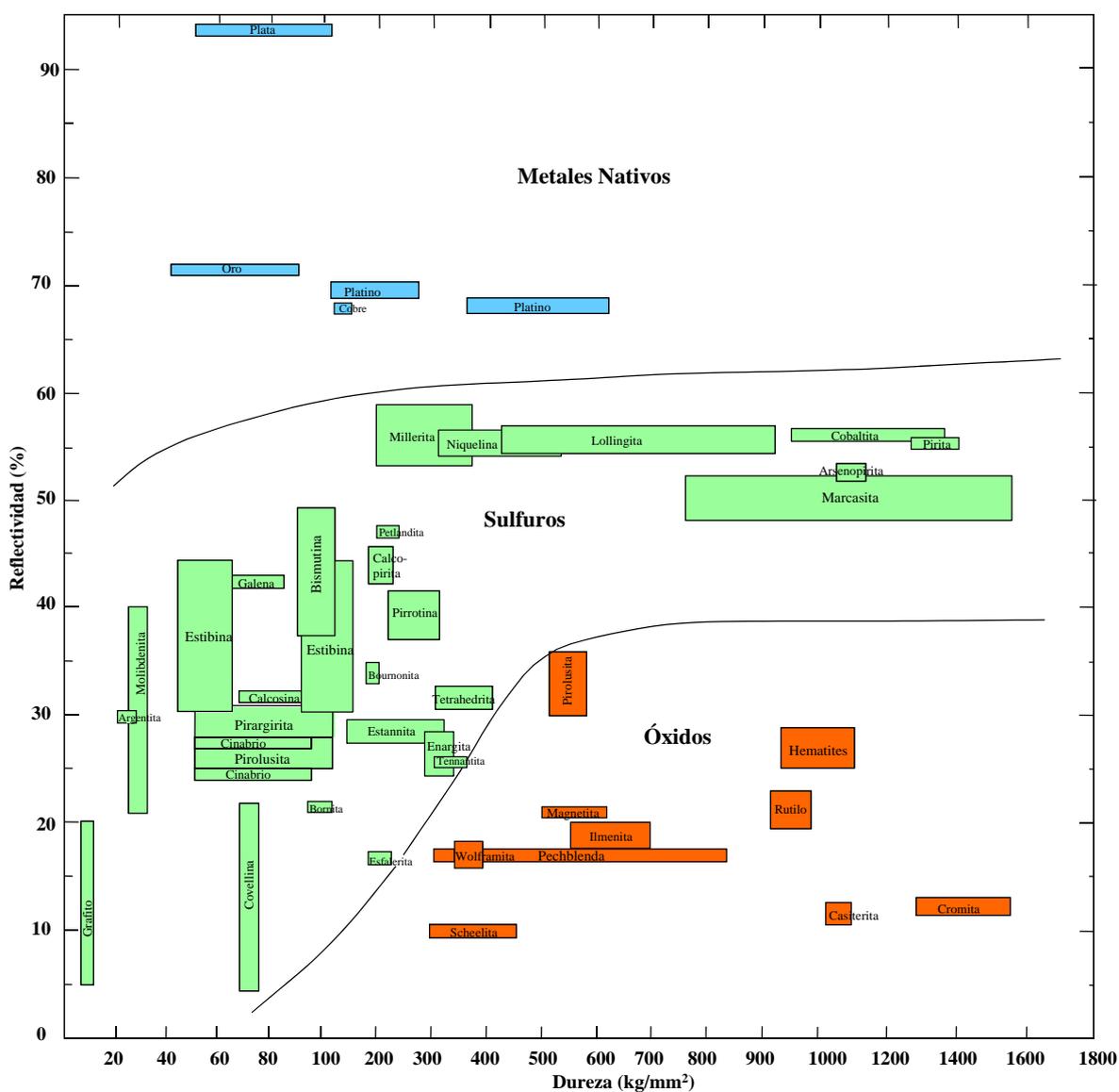


Fig. 2.- Relación entre dureza y reflectividad para algunos minerales opacos comunes.

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

e) Color de anisotropía o de polarización.

Es el color o colores que se observan en un mineral al girar la platina con nícoles cruzados (p. ej., la marcasita presenta colores de anisotropía desde azul intenso a verde).

f) Isotropía/anisotropía.

La isotropía de un mineral se pone de manifiesto porque no cambia de color al girar la platina cuando es observado con nícoles cruzados (p. ej., galena, esfalerita). Habitualmente, **un mineral 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 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,
- 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.

De acuerdo a su comportamiento con luz polarizada, los minerales opacos pueden dividirse en: isótropos, débilmente anisótropos y anisótropos.

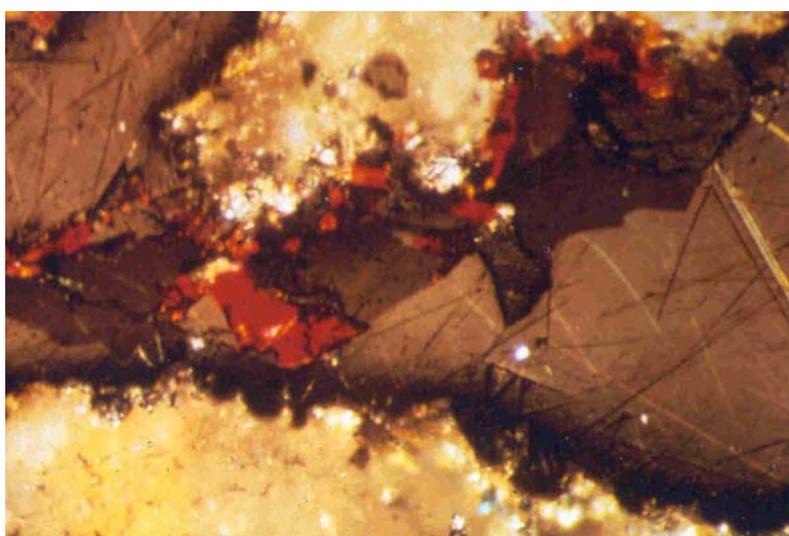
g) Reflexiones internas.

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 para los minerales transparentes de la ganga**, y pardas, pardo-rojizas o rojas para los minerales opacos más comunes (Fig. 3).



*Fig. 3.- Microfotografía 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 se observan numerosas reflexiones internas de color blanco correspondientes a minerales de la ganga.*

#### *h) 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.

### ***5.- 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 Schouten. Para ello, 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.

Las propiedades ópticas de los minerales opacos más frecuentes seleccionados para estas prácticas se dan a continuación.

**TABLAS DE IDENTIFICACIÓN DE MINERALES OPACOS EN LUZ REFLEJADA**

**(SCHOUTEN)**

**COLOR  
DISTINGUIBLE**

<b>AZUL</b>	Isótropo.....	.....1a	
		Anisótropo	Con refl. internas.....1b
			Pleocr. fuerte.....1c
			Sin refl. internas
			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.....5b
			Pleocr. débil.....5c
		Reflec. media.....	.....5d
			Reflec. baja.....

**SIN COLOR  
DISTINGUIBLE**

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

## 6.- Propiedades ópticas de los minerales opacos más comunes

### CALCOPIRITA

$\text{CuFeS}_2$  (Tetragonal)

*Color:* amarillo brillante a amarillo verdoso.

*Reflectividad:* media (43%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* generalmente débil, pero puede llegar a ser marcado.

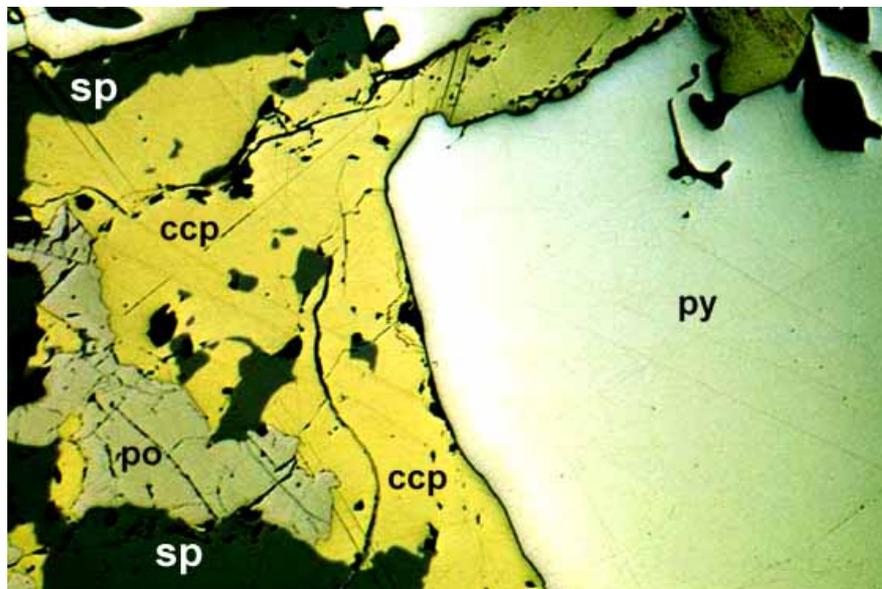
*Dureza:* media (> galena, < esfalerita)

*Isotropía/anisotropía:* en general, débilmente anisótropo.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* generalmente alotriomorfo. Puede presentar maclado polisintético; puede aparecer como gotas dentro de esfalerita y estannina.

*Diagnóstico:* color característico, en algunos casos puede confundirse con el oro (este es más blando y más reflectivo).



*Fig. 4.- Microfotografía con nicoles paralelos de pirita (py), calcopirita (ccp), pirrotina (po) y esfalerita (sp). Nótese el relieve de pulido de la pirita en comparación con la calcopirita y el color blanco-crema de la pirita en contacto con la calcopirita.*

## COVELLINA

CuS (Hexagonal)

*Color:* azul intenso a azul claro.

*Reflectividad:* baja (14%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* extraordinariamente alto.

*Dureza:* baja (>> argentita; < galena, calcopirita, calcosina).

*Isotropía/anisotropía:* anisotropía extrema en colores naranjas muy característicos.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* típico en agregados de cristales aciculares.

*Diagnóstico:* color, pleocroísmo y anisotropía. Suele ir asociado con calcosina y a veces reemplazando a calcopirita.



*Fig. 5.- Microfotografías con nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados de covellina masiva. Puede apreciarse el elevado pleocroísmo en tonos azules del mineral, así como los colores de polarización característicos en tonos anaranjados-cobrizos.*

## ESFALERITA

ZnS (Cúbico)

*Color:* gris.

*Reflectividad:* baja (17%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* no presenta.

*Dureza:* media (>calcopirita, tetraedrita, estannina, 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.

*Otras características:* puede presentar zonado. Son comunes las texturas de exsolución de esfalerita en otros minerales (p. ej., calcopirita) y viceversa.

*Diagnóstico:* 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.

## ESTIBINA

$\text{Sb}_2\text{S}_3$  (Rómbico)

*Color:* Blanco a blanco grisáceo.

*Reflectividad:* media (38%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* muy fuerte.

*Dureza:* baja (< galena, bournonita; << calcopirita).

*Isotropía/anisotropía:* marcadamente anisótropo en color azul, gris y marrón.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* maclado polisintético muy común, terminado en punta.

*Diagnóstico:* pleocroísmo de birreflexión, anisotropía muy característica, maclado polisintético.

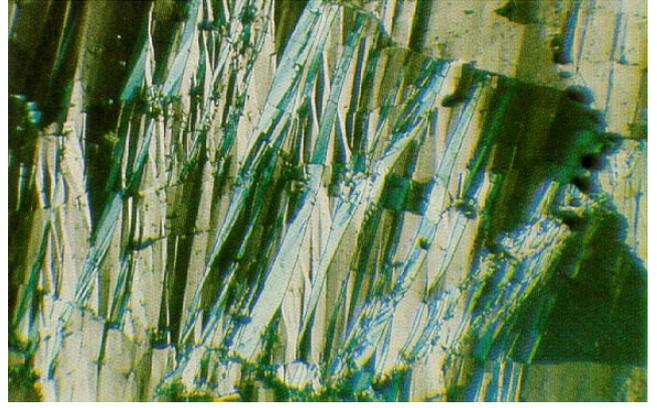
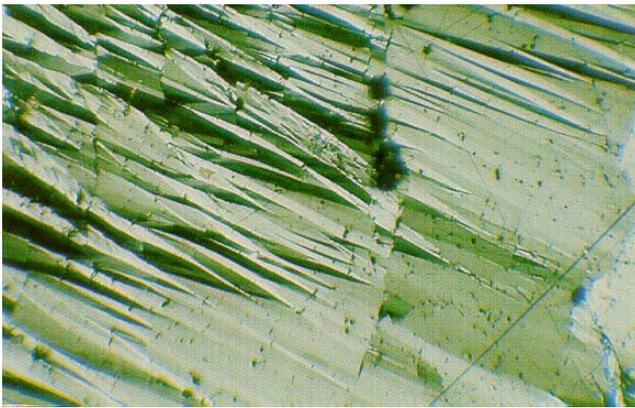


Fig. 6.- Microfotografías con nícoles paralelos (izquierda) y nícoles cruzados.

## GALENA

$\text{PbS}$  (Cúbico)

*Color:* Blanco.

*Reflectividad:* media (43%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* No presenta.

*Dureza:* media a baja (>>argentita, >covellina; = calcosina; <bournonita, bornita).

*Isotropía/anisotropía:* isótropo.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* Exfoliación cúbica perfecta, desarrolla marcas triangulares características debidas al pulido.

*Diagnóstico:* Marcas triangulares de pulido, reflectividad relativamente alta. Isotropía.

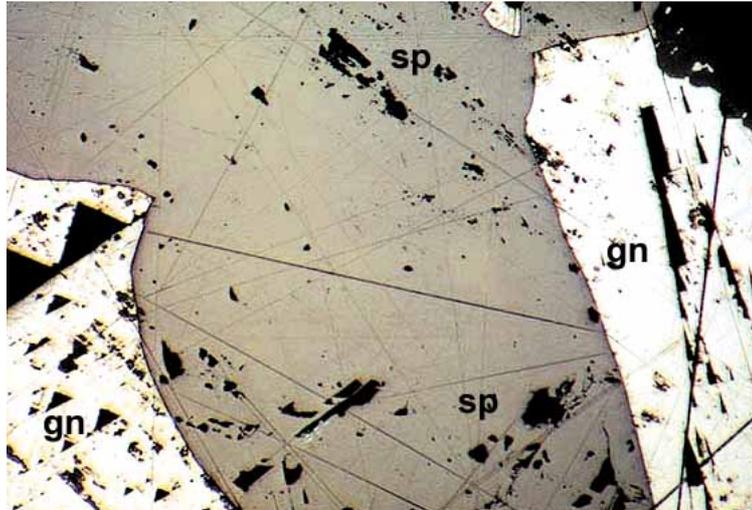


Fig. 7.- Microfotografía con nícoles paralelos de galena (gn) y esfalerita (sp), en la que se aprecian las marcas triangulares de pulido características de la galena y la menor birreflectividad de la esfalerita.

## GOETHITA

FeOOH (Monoclínico)

Color: Gris, con tinte azulado.

Reflectividad: baja (16%).

Pleocroismo/birreflectividad: débil.

Dureza: alta.

Isotropía/anisotropía: anisótropo, distinguible con colores azules. A veces enmascarada por las reflexiones internas.

Reflexiones internas: Muy abundantes, de colores pardo-rojizo.

Otras características: Texturas botrioidales, bandeadas, esferulíticas, radiadas.

Diagnóstico: las texturas y reflexiones internas.



Fig. 8.- Microfotografía con nícoles cruzados de goethita. Obsérvese la textura botrioidal y las reflexiones internas rojas.

## MAGNETITA

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  (Cúbico)

*Color:* gris con tinte marrón.

*Reflectividad:* baja (20%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* no presenta.

*Dureza:* alta ( $\gg$  pirrotina,  $<$  ilmenita,  $\ll$  hematites).

*Isotropía/anisotropía:* isótropo.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* cristales equidimensionales idiomorfos (octaédricos) a alotriomorfos. A veces puede presentar exsoluciones lamelares de pleonasto o ilmenita. Es común que aparezca pseudomorfizada por hematites a lo largo de planos de exfoliación (martitización).

*Diagnóstico:* 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).

## MARCASITA

$\text{FeS}_2$  (Rómbico)

*Color:* Blanco-crema. Similar a la pirita, pero en contacto presenta un ligero tinte azul.

*Reflectividad:* alta (52%).

*Pleocroísmo/birreflectividad:* Débil a fuerte.

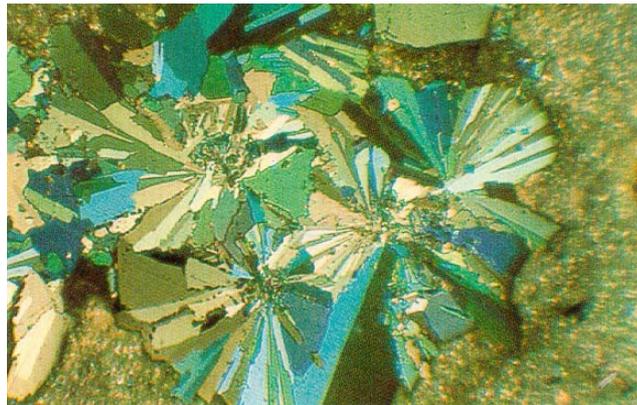
*Dureza:* alta ( $\cong$  pirita).

*Isotropía/anisotropía:* fuertemente anisótropo, con colores verdes muy intensos.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* son muy comunes las maclas laminares. Crecimientos en “cresta de gallo”.

*Diagnóstico:* su anisotropía en colores verdes la diferencian de pirita y arsenopirita.



*Fig. 9.- Microfotografía con nicoles cruzados de marcasita, donde se aprecia el hábito radiado y los colores de polarización verdes y azules característicos de este mineral.*

## PIRITA

$\text{FeS}_2$  (Cúbico)

*Color:* blanco, blanco amarillento.

*Reflectividad:* alta (54%)

*Pleocroísmo/birreflectividad:* no presenta

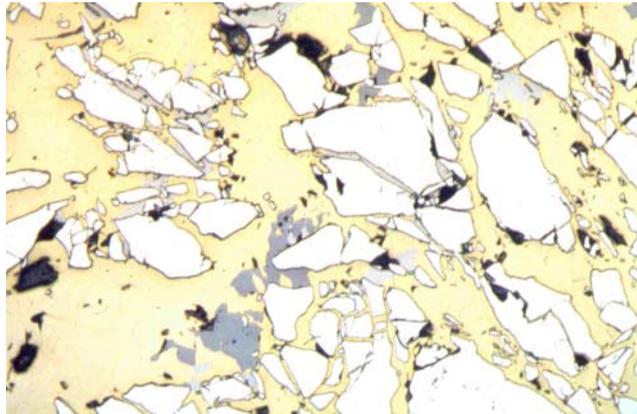
*Dureza:* alta (> arsenopirita,  $\approx$ marcasita, hematites, < casiterita)

*Isotropía/anisotropía:* isótropo, aunque puede ser débilmente anisótropo.

*Reflexiones internas:* no presenta.

*Otras características:* muy común como cubos idiomorfos.

*Diagnóstico:* Color blanco amarillento, alta reflectividad y elevada dureza de pulido.



*Fig. 10.- Microfotografía con nicoles paralelos de pirita (blanco) en calcopirita (amarillo) con algo de esfalerita (gris).*

# **MICROSCOPIA DE LUZ TRANSMITIDA**

# MICROSCOPIA DE LUZ TRANSMITIDA

## Propiedades ópticas de minerales transparentes

### **FLUORITA**

**Relieve:** Relieve negativo moderadamente alto (menor que el bálsamo).

**Color:** Normalmente incoloro en lámina delgada, aunque a veces puede presentar colores pálidos semejantes a los que tiene en muestra de mano (violeta, etc.).

**Pleocroísmo:** Debido a su carácter isótropo, nunca presenta pleocroísmo.

**Hábito:** Cubos o cubos modificados por caras de octaedro o dodecaedro. También puede aparecer como granos anhedrales o masas granulares; más raramente como agregados columnares o fibrosos.

**Exfoliación:** Exfoliación octaédrica perfecta según  $\{111\}$  (en cuatro direcciones).

**Maclado:** No visible.

**Birrefringencia:** Nula. Es **isótropo**.

**Características diagnósticas:** **Isotropía, exfoliación, relieve.**

**Posibles confusiones:** No hay minerales comunes con características similares.

### **BARITA**

**Relieve:** Relieve positivo moderadamente alto.

**Color:** Generalmente incoloro.

**Pleocroísmo:** Generalmente ausente.

**Hábito:** Cristales tabulares o, menos frecuentemente, prismáticos paralelos al eje *a* o *b*. Los cristales aparecen frecuentemente intercrecidos, formando rosetas o agregados radiados. A veces masiva.

**Exfoliación:** Presenta cuatro direcciones de exfoliación; dos muy marcadas según  $\{210\}$  que se cortan a  $78^\circ$ , otra menos marcada según  $\{010\}$ , y una exfoliación basal perfecta según  $\{001\}$  que corta a las otras tres a  $90^\circ$ .

**Maclado:** Normalmente no aparece maclado. Las variedades masivas pueden presentar maclas de deformación según  $\{110\}$ .

**Birrefringencia:** Baja. Los colores de interferencia llegan, como máximo, a amarillo de primer orden.

**Extinción:** En secciones paralelas al eje *c*, la extinción es paralela a la exfoliación. En secciones basales, la extinción es simétrica con respecto a las exfoliaciones prismáticas.

**Figura de interferencia:** Biáxico positivo.

**Características diagnósticas:** Relieve, hábito, extinción, minerales asociados (típicamente hidrotermales: fluorita, cuarzo, menas metálicas).

**Posibles confusiones: Yeso.** Se distingue por su menor relieve y extinción oblícua, así como por su paragénesis. **Anhidrita.** Tiene mayor birrefringencia y aparece normalmente como agregados masivos o fibrosos. Típicamente sedimentario.



Fig. 11.- Microfotografía con nícoles cruzados de un agregado radiado de cristales de barita. En la parte inferior derecha se aprecian cristales alotriomorfos de cuarzo. Foto: Lorena Ortega.

## CALCITA

**Relieve:** De negativo moderado a positivo alto → **pleocroísmo de relieve.**

**Color:** Incoloro.

**Hábito:** Generalmente forma agregados de cristales anhedrales. A veces cristales aislados con forma de romboedro.

**Exfoliación:** Exfoliación romboédrica perfecta según  $\{1011\}$ . El ángulo entre las familias de líneas de exfoliación es de unos  $75^\circ$ .

**Maclado:** Frecuentemente maclado laminar. Las lamelas suelen ser paralelas a un borde del romboedro de exfoliación o a lo largo de la diagonal mayor del rombo (ver Figura 12)

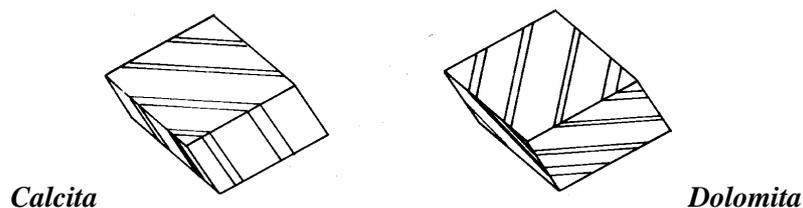


Fig. 12.-Orientación de las lamelas de macla con respecto a las caras del romboedro en calcita y dolomita.

**Birrefringencia:** Extremadamente alta (colores pastel). Las lamelas de macla pueden aparecer con colores rosa o verde pastel.

**Extinción:** Oblícua o simétrica a las líneas de exfoliación.

**Figura de interferencia:** Las figuras de eje óptico son uniáxicas negativas con numerosas isocromáticas e isogiras delgadas y bien definidas.

**Características diagnósticas:** Exfoliación, birrefringencia y pleocroísmo de relieve.

**Posibles confusiones:** Difícil de distinguir de otros carbonatos romboédricos (p. ej., dolomita), aunque suele aparecer maclada más frecuentemente. La orientación de las maclas también puede usarse como criterio para distinguirla de dolomita.

## **DOLOMITA**

**Relieve:** De negativo moderado a positivo alto → **pleocroísmo de relieve.**

**Color:** Incoloro, aunque pueden aparecer impregnaciones de óxidos de hierro de color pardo.

**Hábito:** Cristales romboédricos que pueden tener caras curvadas (Fig. 14). También son frecuentes los agregados granulares con tamaños de grano variable.

**Exfoliación:** Exfoliación romboédrica perfecta.

**Maclado:** El maclado laminar es relativamente frecuente. Las lamelas pueden ser paralelas tanto a la diagonal larga del rombo como a la corta (ver Figura 12). También puede presentar maclado sencillo.

**Birrefringencia:** Extremadamente alta (colores pastel).

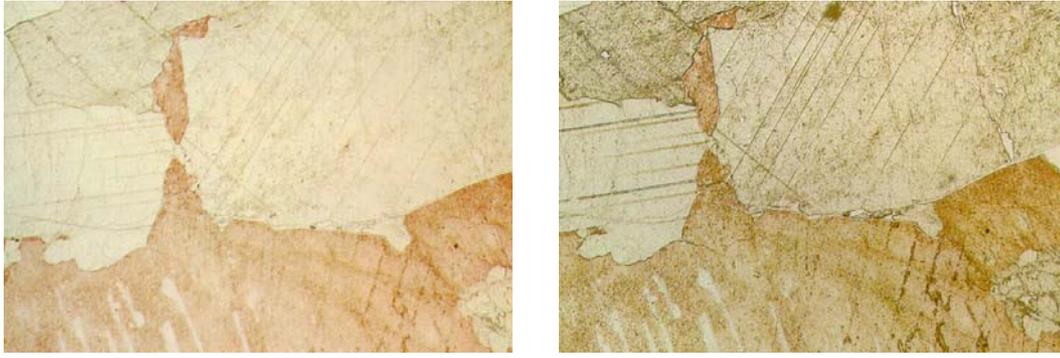
**Extinción:** Oblícuo o simétrica a las líneas de exfoliación.

**Figura de interferencia:** Las secciones basales dan figuras de interferencia uniáxicas negativas con numerosas isocromáticas.

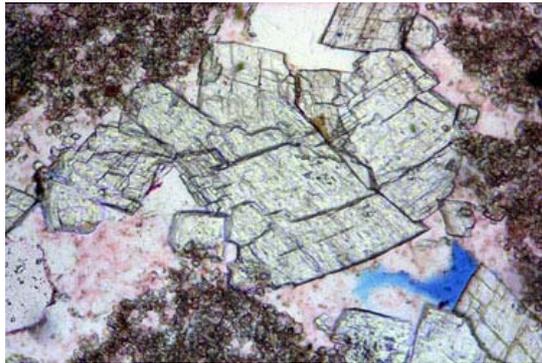
**Características diagnósticas:** Exfoliación, birrefringencia, pleocroísmo de relieve, maclado.

**Posibles confusiones:** La calcita y la dolomita se presentan juntas con mucha frecuencia en rocas sedimentarias (calizas, dolomías) y metamórficas (mármoles, rocas de silicatos cálcicos), siendo difíciles de distinguir entre sí. Las siguientes características pueden ayudar en su identificación:

1. La dolomita presenta con más frecuencia formas euhédricas.
- 2.- La calcita está maclada más frecuentemente que la dolomita.
- 3.- Las maclas laminares en la calcita pueden ser paralelas u oblicuas a la diagonal larga o paralelas a los bordes de los romboedros de exfoliación, pero nunca paralela a la diagonal corta. Las maclas laminares en la dolomita pueden ser paralelas tanto a la diagonal larga como a la corta de los romboedros de exfoliación.
- 4.- La dolomita puede ser incolora, estar anubarrada o estar ligeramente teñida por óxidos de hierro, mientras que la calcita es generalmente incolora.
- 5.- Para distinguir con mayor certeza estos dos minerales, las muestras que contienen calcita y dolomita suelen teñirse con rojo de alizarina. Así, la **calcita** va a aparecer **teñida de rojo**, mientras que la **dolomita no se tiñe** (Fig. 13).



*Fig. 13.- Microfotografías con nícoles paralelos de dolomita y calcita (teñida de rojo). El polarizador se ha girado 90° para apreciar el pleocroísmo de relieve característico de estos minerales.*



*Fig. 14.- Microfotografía con nícoles paralelos de cristales euhédricos de dolomita, en los que se aprecian las caras curvas de los cristales romboédricos.*

# DIFRACCIÓN DE RAYOS X

# DIFRACCIÓN DE RAYOS X

## ***1.- El método del polvo policristalino.***

Los diagramas de difracción de rayos X que se estudiarán en estas prácticas se han realizado mediante la técnica del polvo policristalino. En esta técnica se usan preparados de muestras molidas y tamizadas a tamaño inferior a las 53  $\mu\text{m}$ . La muestra pulverizada se deposita sobre un portamuestras, evitando, en lo posible, la orientación preferente de los cristalitas.

Cada sustancia cristalina produce su propio diagrama de difracción, que es característico para esa sustancia. De esta forma, en una mezcla, cada una de las sustancias que la componen da lugar a un diagrama propio y característico. El diagrama global corresponderá al conjunto acumulado de diagramas que se habrían obtenido de cada una de las fases minerales por separado. Para la identificación de fases puede utilizarse el fichero Hanawalt o las fichas ASTM.

## ***2.- Interpretación de los diagramas.***

En un diagrama de difracción de rayos X los picos que aparecen corresponden a reflexiones producidas por planos reticulares que cumplen la ley de Bragg ( $2d \sin\theta = n\lambda$ ). Cada uno de estos planos tiene un espaciado ( $d$ ) característico. Para conocer este espaciado es necesario averiguar el ángulo  $\theta$ . En la escala inferior del diagrama se recoge el ángulo  $2\theta$ , por lo que puede calcularse sin dificultad el valor de  $d$  para cada efecto de difracción (pico).

Para la interpretación de un diagrama de rayos X se han de seguir los siguientes pasos:

1.- Numerar todos los picos del diagrama, empezando por los que aparecen a ángulos más bajos.

2.- Empleando las tablas de conversión, se calculan los espaciados en  $\text{Å}$  de cada efecto de difracción y se anota su valor al lado del número correspondiente al pico.

3.- En la siguiente columna se indica la intensidad relativa de cada pico. Para ello, se asigna el valor 100 al pico de mayor intensidad del diagrama (la intensidad corresponde a la altura del pico en el diagrama).

4.- Se busca en los ficheros un mineral cuya reflexión de 100 coincida en espaciado con la determinada en el diagrama problema. Una vez encontrado este mineral se comprueba que el resto de las reflexiones de mayor intensidad (en el fichero Hanawalt) o todas las reflexiones restantes (fichas ASTM) correspondan con las de nuestra muestra problema.

## ***3.- Ejemplo de interpretación de un diagrama monomineral.***

En la figura se representa el diagrama de difracción de rayos X del cinabrio. Para la interpretación de este diagrama, en primer lugar construiríamos una tabla como la que aparece en el lateral de la figura, indicando los valores de los ángulos  $2\theta$ , espaciado en  $\text{Å}$  y señalando el pico de máxima intensidad, al que se le asigna el valor 100.

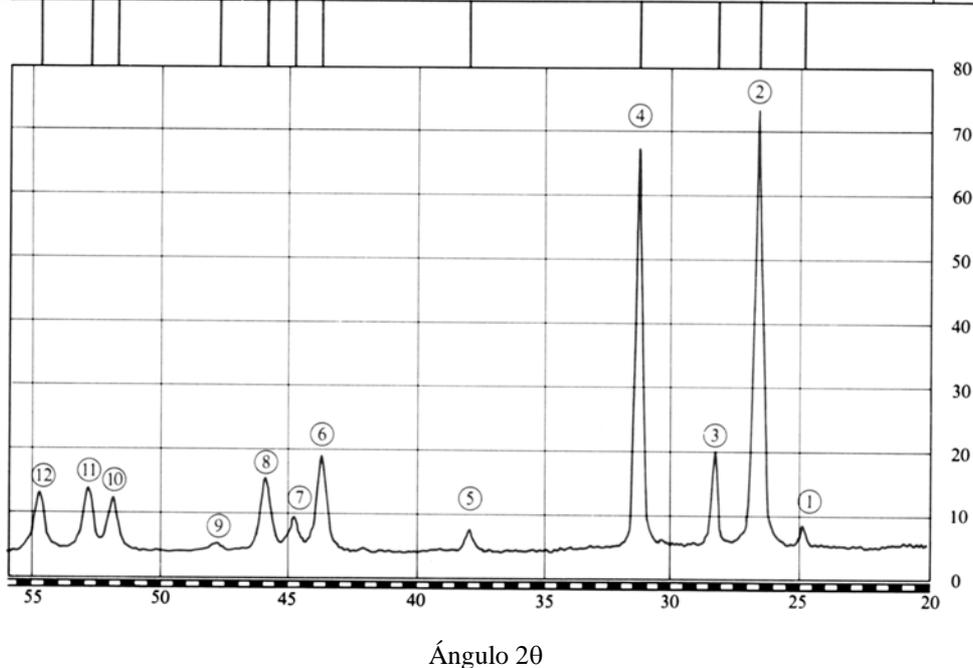
El fichero de Hanawalt recoge los ocho picos más intensos de cada mineral, ordenados según intensidad decreciente e intercambiando las posiciones de los tres picos de mayor intensidad, con el fin de reducir posibles problemas de orientación preferente de las muestras. Estos espaciados están tabulados en intervalos (p. ej., espaciados comprendidos entre 3.30 y 3.40 Å, entre 2.85 y 2.89 Å, etc.). Dentro de cada intervalo, los minerales aparecen ordenados según espaciado decreciente en la segunda columna. Los subíndices que aparecen al lado de cada espaciado corresponden a la intensidad relativa (en una escala de 1 a 10;  $x$  representa el pico de máxima intensidad).

Para identificar el mineral problema, en primer lugar se busca el intervalo de espaciados en el que se encontraría la reflexión más intensa de nuestro diagrama. En este caso, puesto que el pico de máxima intensidad del diagrama está a 3.351 Å, buscaríamos un mineral cuya reflexión de intensidad 10 ( $x$ ) estuviera en el intervalo entre 3.30 y 3.40 Å. Posteriormente, en la segunda columna del fichero, buscaríamos la segunda reflexión en intensidad del diagrama (a 2.867 Å). Finalmente, comprobaríamos que el resto de los picos estuviera presente para ese mineral (hasta los ocho picos más intensos de nuestro diagrama). El mineral identificado, en este caso el cinabrio, señalado con una flecha en tres tablas posibles, sería el mineral problema.

Como en el diagrama aparecen más de ocho reflexiones, deberíamos comprobar que las restantes también corresponden al mismo mineral. Para ello utilizamos el fichero ASTM. En el fichero de Hanawalt se indica en la última columna el número de la ficha ASTM correspondiente (en este caso, la 6-256). En estas fichas los espaciados de las reflexiones están ordenados en orden decreciente. En las tres casillas superiores se muestran los tres valores de los espaciados de mayor intensidad para ese mineral (señalados con un 2 dentro de un círculo) y el valor del espaciado “más característico” (no coincide o se solapa con ninguna otra reflexión de minerales frecuentes; está señalado con un 3 dentro de un círculo en la tabla). En la ficha del cinabrio vemos que todas las reflexiones de nuestro diagrama se encuentran en ella, por lo que el diagrama problema es de una muestra monomineral de cinabrio.

Para muestras poliminerales, una vez eliminados todos los picos correspondientes al primer mineral, se repite el procedimiento anterior tantas veces como minerales haya en la muestra.

I	12	16	13	1	18	7	22	4	91	22	100	4
H	8	11	9	1	12	5	15	3	62	15	68	3
d (Å)	1,681	1,734	1,765	1,903	1,981	2,023	2,074	2,374	2,867	3,164	3,351	3,590
2θ(°)	54,60	52,80	51,80	47,80	45,80	44,80	43,65	37,90	31,20	28,20	26,60	24,80



Ejemplo de diagrama de difracción de rayos X

①	②	③	④				
6-256				★			
d	3.36	2.86	1.98	3.59	HgS		
I/I <sub>1</sub>	100	95	35	6	Mercury Sulfide	(Cinnabar)	
Rad. CuKα <sub>1</sub> λ 1.5405	Filter Ni	Dia.		d Å	I/I <sub>1</sub>	hkl	d Å
Cut off	1/1 <sub>1</sub> Diffractometer	1/1 cor.		3.59	6	100	1.258
Ref. Swanson et al., NBS Circular 539, Vol. 4, 17-20 (1955)				3.359	100	101	1.248
				3.165	30	003	1.1975
				2.863	95	102	1.1883
				2.375	10	103	1.1787
Sys. Hexagonal	S.G. P3 <sub>1</sub> ,221 (152,154)			2.074	25	110	1.1614
a <sub>0</sub> 4.149	b <sub>0</sub>	c <sub>0</sub> 9.495	A	2.026	12	111	1.1358
a	β	γ	Z 3	1.980	35	104	1.1271
Ref. Ibid.			Dx 8.187	1.900	4	112	1.1201
				1.765	20	201	1.1047
εα	nωβ 2.905	εγ 3.256	Sign +	1.735	25	113	1.0828
2V	D 8.090	mp	Color Red	1.679	25	105	1.0693
Ref. Dana's System of Mineralogy, 7th Ed., Vol. 1				1.583	6	006	1.0309
				1.562	6	203	1.0132
Sample from the Fisher Scientific Co.				1.433	8	204	0.9910
Spect. anal.: <0.1% Al, Ca, Mg, Na; <0.01% Fe, Mn, Si; <0.001% Ag, Cu, Pb. X-ray pattern at 26°C.				1.401	2	115	.9859
The sample was annealed in sulfur atmosphere at 325°C for 2 hours and cooled slowly.				1.358	6	210	.9753
Merck Index, 8th Ed., p. 661.				1.344	12	211	.9599
				1.305	10	212,205	.9503
				1.269	4	107	Plus 6 reflections.

Ficha ASTM del cinabrio.

# Hanawalt Numerical

## Section

i	3.30x	2.89 <sub>8</sub>	3.42 <sub>6</sub>	2.74 <sub>5</sub>	3.72 <sub>4</sub>	3.00 <sub>4</sub>	2.86 <sub>4</sub>	1.88 <sub>4</sub>	<b>Andorite, cuprian</b>	$Ag_3CuPb_4Sb_{12}S_{24}$	13- 462
*	3.40 <sub>8</sub>	2.88 <sub>8</sub>	4.38 <sub>6</sub>	5.76 <sub>4</sub>	2.61 <sub>4</sub>	4.09 <sub>4</sub>	2.76 <sub>4</sub>	1.76 <sub>3</sub>	<b>Shcherbinaite syn</b>	$V_2O_5$	9- 387
i	3.39x	2.88x	2.13x	2.84 <sub>8</sub>	2.24 <sub>8</sub>	1.80 <sub>8</sub>	3.04 <sub>8</sub>	2.78 <sub>8</sub>	<b>Crichtonite</b>	$(Sr,La)(Ti,Fe)_2O_{38}$	22-1121
i	3.34x	2.88 <sub>8</sub>	2.53 <sub>8</sub>	4.24 <sub>8</sub>	2.28 <sub>1</sub>	2.19 <sub>1</sub>	2.07 <sub>1</sub>	1.78 <sub>1</sub>	<b>Taenite, ordered</b>	$\gamma-(Fe,Ni)$	18- 877
*	3.31x	2.88 <sub>8</sub>	4.16 <sub>7</sub>	5.21 <sub>5</sub>	2.74 <sub>5</sub>	4.50 <sub>4</sub>	3.78 <sub>3</sub>	3.00 <sub>3</sub>	<b>Milarite</b>	$K_2Co_4Be_4Al_2Si_2O_{60}\cdot H_2O$	12- 450
i	3.32x	2.87x	1.74x	2.04 <sub>6</sub>	1.11 <sub>6</sub>	2.57 <sub>8</sub>	1.02 <sub>8</sub>	0.98 <sub>8</sub>	<b>Irasite</b>	$(Ir,Ru)AsS$	19- 591
i	3.36x	2.86x	1.98 <sub>8</sub>	3.17 <sub>3</sub>	2.07 <sub>3</sub>	1.74 <sub>3</sub>	1.68 <sub>3</sub>	1.77 <sub>2</sub>	<b>Cinnabar syn</b>	HgS	6- 256
i	3.31x	2.86 <sub>8</sub>	3.40 <sub>8</sub>	3.57 <sub>4</sub>	4.54 <sub>4</sub>	4.28 <sub>3</sub>	3.75 <sub>2</sub>	3.68 <sub>2</sub>	<b>Hatchite</b>	$PbTlAgAs_2S_3$	25- 463
c	3.31x	2.86 <sub>8</sub>	3.33 <sub>8</sub>	2.81 <sub>7</sub>	2.64 <sub>5</sub>	4.51 <sub>4</sub>	3.72 <sub>4</sub>	3.62 <sub>4</sub>	<b>Wallisite</b>	$PbTlCuAs_2S_3$	27- 279
i	3.38 <sub>5</sub>	2.85x	9.16 <sub>7</sub>	4.56 <sub>4</sub>	2.61 <sub>3</sub>	1.94 <sub>3</sub>	4.84 <sub>3</sub>	4.41 <sub>3</sub>	<b>Hopeite</b>	$Zn_3(PO_4)_2\cdot 4H_2O$	26-1397
i	3.35 <sub>8</sub>	2.85x	10.9 <sub>9</sub>	2.67 <sub>7</sub>	2.15 <sub>7</sub>	1.58 <sub>7</sub>	1.69 <sub>6</sub>	1.91 <sub>5</sub>	<b>Beyerite</b>	$CaBi_2O_2(CO_3)_2$	22-1067
i	3.34 <sub>8</sub>	2.85 <sub>7</sub>	2.75x	2.94 <sub>6</sub>	4.83 <sub>3</sub>	3.21 <sub>5</sub>	2.25 <sub>5</sub>	3.28 <sub>4</sub>	<b>Sarcolite</b>	$(CaNa)_4Al_3(AlSi)_3Si_6O_{24}$	17- 754
*	3.33 <sub>8</sub>	2.85 <sub>7</sub>	2.95x	2.05 <sub>2</sub>	1.84 <sub>2</sub>	2.26 <sub>2</sub>	4.42 <sub>1</sub>	3.69 <sub>1</sub>	<b>Lanarkite</b>	$Pb_2(SO_4)O$	18- 702
i	3.40x	2.84 <sub>8</sub>	1.74 <sub>8</sub>	4.41 <sub>5</sub>	1.70 <sub>5</sub>	4.24 <sub>4</sub>	3.01 <sub>4</sub>	2.14 <sub>4</sub>	<b>Hallimonite syn</b>	$Pb_2(UO_2)(AsO_4)_2$	18- 706
*	3.37 <sub>9</sub>	2.84 <sub>8</sub>	8.20x	3.32 <sub>7</sub>	3.10 <sub>7</sub>	3.07 <sub>7</sub>	1.71 <sub>7</sub>	3.42 <sub>6</sub>	<b>Penkvilksite</b>	$Na_4Ti_2Si_8O_{22}\cdot 5H_2O$	26-1386
o	2.86x	2.05 <sub>4</sub>	1.97 <sub>4</sub>	1.62 <sub>2</sub>	1.53 <sub>2</sub>	1.42 <sub>2</sub>	3.13 <sub>1</sub>	1.25 <sub>1</sub>	<b>Breithauptite</b>	NiSb	2- 783
i	2.90 <sub>8</sub>	2.04 <sub>8</sub>	3.38x	2.99 <sub>6</sub>	2.13 <sub>4</sub>	3.63 <sub>3</sub>	2.75 <sub>3</sub>	1.75 <sub>3</sub>	<b>Wittite, argentican</b>	$(Pb,Ag)_3(Bi,As)_3(S,Se)_{14}$	25- 460
i	2.90x	2.04 <sub>8</sub>	1.55 <sub>5</sub>	1.30 <sub>4</sub>	1.18 <sub>4</sub>	3.34 <sub>3</sub>	1.60 <sub>3</sub>	1.24 <sub>3</sub>	<b>Borovskite</b>	$Pd_3SbTe_4$	26-1426
*	2.89x	2.04 <sub>8</sub>	1.67 <sub>2</sub>	1.29 <sub>1</sub>	1.18 <sub>1</sub>	3.33 <sub>1</sub>	1.44 <sub>1</sub>	1.33 <sub>1</sub>	<b>Bromargyrite</b>	AgBr	6- 438
*	2.87x	2.03 <sub>8</sub>	2.35 <sub>8</sub>	1.44 <sub>4</sub>	1.66 <sub>3</sub>	4.69 <sub>2</sub>	1.28 <sub>1</sub>	1.09 <sub>1</sub>	<b>Elpasolite syn</b>	$K_2NaAlF_6$	22-1235
i	2.86x	2.03 <sub>8</sub>	3.43 <sub>7</sub>	4.31 <sub>6</sub>	3.83 <sub>4</sub>	3.23 <sub>4</sub>	3.12 <sub>4</sub>	2.06 <sub>4</sub>	<b>Incaite</b>	$(Pb,Ag)_4FeSn_4Sb_2S_{13}$	27- 277
i	2.85x	2.03 <sub>8</sub>	3.54 <sub>7</sub>	1.87 <sub>7</sub>	1.28 <sub>7</sub>	1.66 <sub>5</sub>	1.17 <sub>5</sub>	1.13 <sub>5</sub>	<b>Thorbastnaesite</b>	$Th(Ca,Ce)(CO_3)_2F_2\cdot 2-3H_2O$	18-1362
*	2.85x	2.01 <sub>7</sub>	1.64 <sub>2</sub>	1.27 <sub>2</sub>	1.16 <sub>1</sub>	1.42 <sub>1</sub>	0.95 <sub>1</sub>	0.90 <sub>1</sub>	<b>Oldhamite syn</b>	CaS	8- 464
i	2.84 <sub>8</sub>	2.01 <sub>8</sub>	3.27x	2.76 <sub>7</sub>	1.71 <sub>7</sub>	4.63 <sub>6</sub>	4.02 <sub>6</sub>	1.80 <sub>6</sub>	<b>Cliffordite</b>	$UTe_2O_9$	25- 999
*	2.86x	1.98 <sub>4</sub>	3.36x	3.17 <sub>3</sub>	2.07 <sub>3</sub>	1.74 <sub>3</sub>	1.68 <sub>3</sub>	1.77 <sub>2</sub>	<b>Cinnabar syn</b>	HgS	6- 256
i	2.85 <sub>8</sub>	1.98x	2.92 <sub>9</sub>	2.47 <sub>6</sub>	3.21 <sub>5</sub>	2.56 <sub>4</sub>	2.16 <sub>4</sub>	2.50 <sub>2</sub>	<b>Larosite</b>	$(Cu,Ag)_2(Pb,Bi)_2S_{13}$	25- 311
*	2.86x	1.93 <sub>8</sub>	1.82 <sub>4</sub>	1.76 <sub>5</sub>	3.72 <sub>3</sub>	2.44 <sub>3</sub>	2.41 <sub>3</sub>	3.07 <sub>3</sub>	<b>Gehlenite</b>	$Ca_2Al(Al,Si)_2O_7$	25- 123
o	2.90x	1.88 <sub>8</sub>	4.65 <sub>4</sub>	3.50 <sub>4</sub>	2.18 <sub>4</sub>	1.75 <sub>4</sub>	3.06 <sub>3</sub>	3.20 <sub>2</sub>	<b>Coffinite, yttrian</b>	$(U,Y,Ca,Mg)(SiO_4)(OH)_4$	17- 460
i	2.85 <sub>9</sub>	1.84 <sub>7</sub>	3.15x	4.23 <sub>8</sub>	2.65 <sub>4</sub>	3.51 <sub>5</sub>	19.0 <sub>4</sub>	3.03 <sub>4</sub>	<b>Reyerite</b>	$NaCa_2Si_{11}AlO_{24}(OH)_4\cdot H_2O$	29-1039
o	2.87 <sub>7</sub>	1.83 <sub>7</sub>	2.97x	2.58 <sub>4</sub>	1.63 <sub>4</sub>	2.43 <sub>3</sub>	2.25 <sub>3</sub>	1.76 <sub>3</sub>	<b>Seidozerite</b>	$Na_4MnTiZr_2O_2(Si_2O_7)F$	13- 576
i	1.95 <sub>5</sub>	3.47 <sub>4</sub>	2.95x	2.83 <sub>4</sub>	2.69 <sub>4</sub>	3.31 <sub>4</sub>	3.11 <sub>3</sub>	2.80 <sub>3</sub>	<b>Cerite</b>	$Ca_2La_8(SiO_4)_2(OH)_3$	11- 126
i	1.99 <sub>3</sub>	3.45x	2.80 <sub>4</sub>	1.83 <sub>2</sub>	3.02 <sub>2</sub>	2.13 <sub>2</sub>	2.06 <sub>2</sub>	3.95 <sub>1</sub>	<b>Zinckenite, Zinckenite</b>	$PbSb_3S_4$	7- 334
i	1.98 <sub>7</sub>	3.44x	3.57 <sub>8</sub>	1.87 <sub>7</sub>	1.79 <sub>7</sub>	7.10 <sub>6</sub>	3.81 <sub>6</sub>	2.66 <sub>6</sub>	<b>Calciborite</b>	$CaB_2O_4$	27- 67
o	1.95x	3.43 <sub>8</sub>	2.78x	1.98 <sub>8</sub>	1.82 <sub>8</sub>	1.24 <sub>8</sub>	1.61 <sub>4</sub>	1.52 <sub>4</sub>	<b>Bastnaesite-(Y)</b>	$YCO_3F$	25-1009
*	2.02 <sub>6</sub>	3.37x	2.52 <sub>6</sub>	5.05 <sub>5</sub>	10.1 <sub>5</sub>	1.68 <sub>2</sub>	3.16 <sub>1</sub>	2.93 <sub>1</sub>	<b>Kinoshitalite, 1M</b>	$BaMg_3Al_2Si_2O_{10}(OH)_2$	29- 180
*	1.98 <sub>4</sub>	3.36x	2.86x	3.17 <sub>3</sub>	2.07 <sub>3</sub>	1.74 <sub>3</sub>	1.68 <sub>3</sub>	1.77 <sub>2</sub>	<b>Cinnabar syn</b>	HgS	6- 256
i	1.99x	3.35x	2.60x	10.0 <sub>8</sub>	5.03 <sub>8</sub>	3.63 <sub>8</sub>	3.10 <sub>8</sub>	2.90 <sub>8</sub>	<b>Illite, 1M</b>	$KAl_2(Si_2AlO_{10})(OH)_2$	2- 462
c	1.96x	3.35 <sub>6</sub>	3.36 <sub>6</sub>	2.78 <sub>6</sub>	2.54 <sub>5</sub>	2.54 <sub>5</sub>	2.17 <sub>4</sub>	3.33 <sub>4</sub>	<b>Anilite</b>	$Cu_7S_4$	24- 58
c	1.96 <sub>1</sub>	3.35x	2.08 <sub>1</sub>	1.67 <sub>1</sub>	1.15 <sub>1</sub>	1.62 <sub>1</sub>	1.23 <sub>1</sub>	0.99 <sub>1</sub>	<b>Graphite, 3R syn</b>	C	26-1079
i	2.00 <sub>6</sub>	3.33x	2.61 <sub>7</sub>	1.66 <sub>6</sub>	3.01 <sub>5</sub>	1.53 <sub>5</sub>	3.23 <sub>4</sub>	2.89 <sub>4</sub>	<b>Chernykhite, 2M<sub>1</sub></b>	$Ba_{-6}(VAI)_{2-3}Si_4O_{10}(OH)_2$	25- 76
*	2.00 <sub>3</sub>	3.32x	9.96 <sub>7</sub>	2.62 <sub>2</sub>	1.67 <sub>2</sub>	2.43 <sub>2</sub>	2.17 <sub>2</sub>	1.53 <sub>1</sub>	<b>Phlogopite, fluor, 3T syn</b>	$KMg_3(Si_2AlO_{10})F_2$	16- 352
i	1.98x	3.31x	2.59x	9.94 <sub>8</sub>	4.98 <sub>8</sub>	3.16 <sub>8</sub>	1.50 <sub>8</sub>	2.90 <sub>6</sub>	<b>Lepidolite, 12O</b>	$KLi_2Al_4O_{10}(OH)_2$	15- 62
*	1.98 <sub>8</sub>	3.29x	9.80 <sub>8</sub>	3.09 <sub>4</sub>	3.34 <sub>4</sub>	2.89 <sub>3</sub>	2.59 <sub>3</sub>	3.63 <sub>3</sub>	<b>Zinnwaldite, 1M</b>	$K(Li,Fe)_2Si_4O_{10}(OH)_2$	13- 227
i	2.01 <sub>8</sub>	3.27x	2.84 <sub>8</sub>	2.76 <sub>7</sub>	1.71 <sub>7</sub>	4.63 <sub>6</sub>	4.02 <sub>6</sub>	1.80 <sub>6</sub>	<b>Cliffordite</b>	$UTe_2O_9$	25- 999
*	1.98 <sub>7</sub>	3.27 <sub>5</sub>	3.40x	2.70 <sub>5</sub>	2.37 <sub>4</sub>	2.48 <sub>3</sub>	1.88 <sub>3</sub>	2.34 <sub>3</sub>	<b>Aragonite syn</b>	$CaCO_3$	5- 453

Fichero Hanawalt (parcial)