

*The positive identification of non-opaque minerals in reflected light is very difficult if not impossible, especially for the great number of minerals of relatively low refractive indices. The methods which are developed in this chapter give little promise of truly practical results (...) In spite of this, one will naturally wish to try to identify the non-opaque minerals in a polished section, at least approximately, using all available criteria* (Ramdohr, 1980, v.2, p 1101).

## MINERALES DE GANGA COMUNES

En Recursos Minerales, se entiende por ganga -abreviado **gg**- el conjunto de acompañantes de la mena carentes de valor de mercado y que el minero o el ingeniero de planta han de separar para que la mena sea económica. En efecto, el mineral en bruto extraído de la mina (*todo-uno*) muy raramente tiene un contenido metálico (*ley*) suficiente para el proceso metalúrgico, por lo que es necesario su proceso en planta (*planta de concentración o mineralúrgica*), normalmente a pie de mina, a fin de lograr una ley suficientemente alta para los valores de mercado. En este proceso, idealmente, se trata de eliminar toda la ganga, sin perder nada de la mena, objetivos ambos que sólo se alcanzan parcialmente: su distancia con la realidad marca la eficiencia del proceso.

Los minerales desechados en planta se conocen con nombres que varían según el proceso o la región: *estéril, relaves, rechazos, lodos, efluentes...* Éstos, por su potencial impacto ambiental, pueden representar un problema serio para la viabilidad de la mina en condiciones sostenibles, aunque actualmente se tiende a desarrollar alternativas, para retirarlos y darles un uso útil, reciclándolos como relleno de mina, áridos o minerales industriales, o al menos neutralizarlos. Para todo ello, es necesario caracterizar mineralógicamente la ganga, además de la mena, que puede contener también componentes deletéreos o tóxicos como As, Hg, Se, Bi, Th, U... cuyo vertido ha de evitarse. El impacto ambiental se ha convertido en un condicionante esencial, tanto o más todavía que el valor de mercado, para la viabilidad de una explotación minera. Todo ello hace indispensable el control mineralógico (predictivo y de seguimiento) del proceso, que ha de integrarse con toda la información de sondeos, geológica, geotécnica, química, de planta, etc., siguiendo los planteamientos de la *Geometalurgia*.

### Capacidad de la Microscopía Óptica: discusión.

Teniendo en cuenta la variedad de procesos generadores de yacimientos minerales, así como sus alteraciones hipo y supergénicas, los minerales de gg pueden ser también muy variados y propiamente habrían de estudiarse con luz transmitida con eventual apoyo de técnicas microanalíticas (Microscopio electrónico de barrido o *Scanning electron microscope*, **SEM**<sup>1</sup>, y Microsonda electrónica o *Electron probe micro-analyzer*, **EPMA**<sup>2</sup>).

Sin embargo, no debe olvidarse que:

- la mineralogía presente en la gg del todo-uno es la más estrechamente relacionada con la mena y suele estar constituida por un número limitado de especies (Tabla 1), con propiedades reconocibles -a grandes rasgos y habitualmente con un mínimo apoyo petrográfico-, para un observador experimentado: algunos silicatos (principalmente sílice o

---

<sup>1</sup> [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/SEM.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html).

<sup>2</sup> [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/EPMA](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/EPMA).

cuarzo y filosilicatos/arcillas), carbonatos (calcita, dolomita, ankerita..., algunos de ellos como malaquita o azurita se benefician como menas oxidadas y son inconfundibles), ocasionalmente sulfatos (barita, anhidrita, yeso, jarosita), halogenuros (fluorita, cerargirita), mineraloides (principalmente fases oxidadas como limonita o leucoxeno) y materia orgánica o carbonosa, en distintos grados de evolución. Naturalmente, pueden encontrarse otros minerales de gg, pero generalmente asociados con tipos particulares de yacimientos (por ejemplo, olivino, piroxenos, serpentina, espinela, como acompañantes de cromita o MGP), por lo que su reconocimiento tentativo tampoco suele ofrecer problemas, teniendo en cuenta la asociación (**Anexo 2**);

- el bajo valor de Reflectancia, **R**, de los minerales de gg comunes (transparentes), en correspondencia con su típico carácter no absorbente, permite en general distinguirlos fácilmente de las menas (R mucho más alta). Como establece la función de Fresnel y muestra claramente la Figura 1, el rango para R de los minerales de gg se sitúa entre  $\approx 3\%$  (fluorita, *fl*) y  $\approx 12\%$  (máximo de cerusita, *crs*), siendo los valores más frecuentes  $\approx 4-5\%$  (cuarzo, feldespato, sericita). Los valores R de las menas, en cambio, se sitúan en el rango  $\approx 15-95\%$ , con pocas excepciones (vbgr. monazita,  $R \approx 8\%$ , casiterita,  $R \approx 12\%$ ); en la Figura 1, se representa una típica mena de baja R: esfalerita, *sp*, con  $R \approx 17\%$ . Si se complementa la observación con objetivo de inmersión en aceite, el contraste entre mena y ganga se magnifica, puesto que, en inmersión y según la función de Fresnel (Figura 1), la ganga común (q, Arc, Fslc, calc...) desaparece: al pasar su reflectancia  $R \approx 0\%$ , se ve negra como un hueco, cosa que no ocurre con ninguna mena.

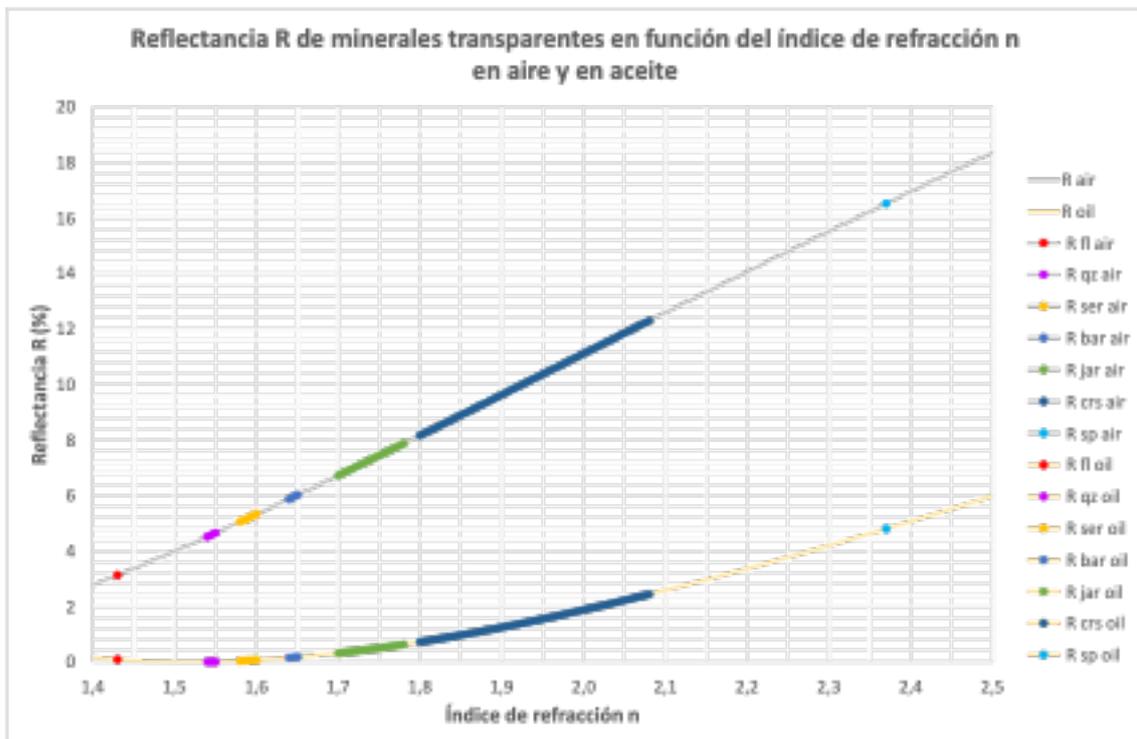


Figura 1.- Reflectancia especular, en aire y en aceite, de sólidos no absorbentes (en particular, minerales transparentes), calculada en función de su índice de refracción, n, según la ecuación de Fresnel simplificada (para valores:  $k=0$ ,  $N=1$  aire,  $N=1.5$  aceite). *Minerales*: *fl*-fluorita; *qz*-cuarzo; *ser*-sericita (moscovita); *bar*-barita; *jar*-jarosita; *crs*-cerusita; *sp*-esfalerita. En aire, los valores R de los minerales típicos de ganga se encuentran por debajo de  $12\%$ , mientras que esfalerita, con  $R \approx 16.5 - 17\%$  (dependiendo de la composición) se proyecta ya en el rango de las menas metálicas. En aceite, cuarzo pasa a  $R = 0$  (no se ve o se ve negro) y esfalerita a  $R \approx 5\%$ .

Estas consideraciones muestran que, en general, se puede simplificar y es posible una caracterización aproximada, por luz reflejada, **LR**, de los minerales comunes de gg (o, al menos, su categorización en tipos amplios con propiedades parecidas). Las series de fotomicrografías de la Jacobsita (*jac*) ilustran el potencial de la simple observación con LR para la caracterización, en casos favorables, no sólo de la mena (*jac, bra*) sino también de la ganga (*q, pie*), la cual en esta muestra se compone de dos minerales bien cristalizados y con notable contraste de color, brillo (o reflectancia, **R**) y reflexiones internas (**RI**). El cuarzo, incoloro, oscuro ( $R \approx 4\%$  a  $5\%$ , como la resina), aparece surcado por innumerables microfisuras selladas con inclusiones fluidas y exhibiendo su carácter anisótropo (*d+p*) y su típica extinción ondulante como respuesta a la deformación. En cambio, el mineral piemontita, del grupo de la epidota, sobresale como en aparente relieve y se ve más claro, como corresponde a su reflectancia (*pie /Ep*, con  $n \approx 1.75-1.8$  y  $R$  calculada  $\approx 7-8\%$ ); es netamente idiomorfo, con acusado hábito prismático y exhibe (*d+p*) maclas y sus típicos colores pardo-rojizos / violáceos transmitidos, sobre todo, por sus RI.

Evidentemente, una formación básica y, a ser posible, unos años de experiencia en Metalogenia y en Petrología son ayudas inestimables para esta tarea. Como lo es el rápido reconocimiento preliminar con estereomicroscopio (lupa binocular). Con todo, si bien el reconocimiento por luz reflejada suele aportar una aproximación valiosa de índole general a la caracterización de la ganga, conviene confirmar sus conclusiones mediante el rápido examen de una muestra representativa con luz transmitida, **LT**, como técnica *ad hoc* para minerales transparentes.

La solución más práctica, sin embargo, es muy simple con las actuales técnicas de preparación de muestras (**Anexo 3**), que hacen asequibles las *láminas transparentes pulidas, LTP* (y también las *láminas doblemente pulidas, LDP*, usadas para estudio de inclusiones fluidas). Las series de fotomicrografías de la monacita (*mz*), que comparan directamente en LT y LR el mismo campo, son ejemplos prácticos de aplicación de estas técnicas complementarias, aunando ambos tipos de observación sobre LTP, para caracterizar una mena de muy baja reflectancia (*mz*, con  $R \approx 8\%$ ).

Los minerales de ganga más comunes se han seleccionado en la Tabla 1, identificándolos con los mismos símbolos (abreviaturas) del **Anexo 1**. Como muestra la Tabla 1, la mayor parte de las especies de ganga se clasifican en sólo dos de las clases de Berzelius, a saber (por orden aproximado de abundancia decreciente y señalando las **familias principales**, dentro de las clases):

- **Clase VIII: Silicatos**
- **Clase V: Carbonatos, Nitratos, Boratos**

En cuanto a la **Clase VI (Sulfatos, cromatos, molibdatos, tungstatos)**, la presencia de Sulfatos como jar (asociada a lim en ambientes oxidantes) es esporádica, mientras que otros como bar o anh, abundan únicamente en algunos tipos de yacimientos, *vbgr. Mississippi Valley* y, aparte de su presencia en depósitos evaporíticos, *pórfidos cupríferos*, respectivamente.

Hay también unos pocos representantes de la **Clase III (Óxidos e Hidróxidos)** y uno -fluorita- de la **Clase IV (Haluros)**. La escasa presencia de óxidos en la Tabla 1 se debe no tanto a su escasez real como al hecho de que casi todos ellos, cuando abundan, son beneficiados como menas metálicas (*vbgr. cst, ht, mng, mt, prl, chr, cup, rt, etc.*) y, por tanto, no se tratan como ganga, sino que se describen como menas. Eso puede ocurrir también con otras especies, como, entre los **carbonatos**: *bastnäsita -cf bst-*, valiosa mena de REE (Tierras Raras), *mch* y *az*, valiosas menas de Cu en los yacimientos del tipo oxidado; o como *sch* entre los **tungstatos** y *crg* entre los **haluros**. El grupo de las **oxiespinelas** representa un caso peculiar, pues comprende una treintena de minerales, desde los típicamente transparentes como la espinela (*s.str.*), hasta los netamente opacos, como la magnetita, abarcando un amplio abanico composicional que, junto con su

abundancia en la roca, determina su valor como mena -vbgr. la cromita- o su tratamiento como ganga.

La mayor parte de los **silicatos** se describen agrupando los de propiedades parecidas en Subclases (*vbgr. Filosilicatos*) o Grupos (*vbgr. Sílice o Cuarzo, Feldespatos*), cosa que facilita la exposición, al sistematizarla (subdivisiones según Berry, Mason y Dietrich, 1982).

Tabla 1. Gangas más comunes.

Abreviatura	Nombre	Descrito como	English Name
ab	Albita	Fs (Grupo)	Albite
adu	Adularia	Fs (Grupo)	Adularia
an	Anortita	Fs (Grupo)	Anorthite
ana	Anatasa	Ox/Hidróxidos	Anatase
Anf	Anfibol (Grupo)	Anf (Grupo)	Amphibole (Group)
ang	Anglesita	Sulfatos (Clase)	Anglesite
anh	Anhidrita	Sulfatos (Clase)	Anhydrite
ank	Ankerita	Carb (Clase)	Ankerite
Arc	Arcilla	FSlc (Subclase)	Clay
bar	Barita	Sulfatos (Clase)	Barite
bio	Biotita	FSlc (Subclase)	Biotite
calc	Calcita	Carb (Clase)	Calcite
<b>Carb</b>	<b>Carbonatos (Clase)</b>	<b>Carb (clase)</b>	<b>Carbonates (class)</b>
ch	Chert	q (Grupo)	Chert
Chl	Clorita	FSlc (Subclase)	Chlorite (Group)
dol	Dolomita	Carb (Clase)	Dolomite
Ep	Epidota (Grupo)	Slc (Clase)	Epidote (Group)
fl	Fluorita	Haluros (Clase)	Fluorite
Fs, Felds	Feldespato (Grupo)	Fs (Grupo)	Feldspar
FSlc, PSlc	Filosilicatos (Subclase)	FSlc (Subclase)	Phyllosilicates
Grt	Granate (Grupo)	Slc (Clase)	Garnet (Group)
hb	Hornblenda	Anf (Grupo)	Hornblende
ili	Illita	FSlc (Subclase)	Illite
jar	Jarosita	Sulfatos (Clase)	Jarosite
jas	Jaspe	q (Grupo)	Jasper
Kfs	Feldespato Potásico	Fs (Grupo)	K Feldspar
lxc	Leucoxeno	Ox/Hidróxidos (Clase)	Leucoxene
lim	Limonita	Ox/Hidróxidos (Clase)	Limonite
Mica	Mica	FSlc (Subclase)	Mica
or	Ortoclasa, ortosa	Fs (Grupo)	Orthoclase
ov	Olivino	Slc (Clase)	Olivine
pie	Piemontita	Slc (Clase)	Piemontite
Plag	Plagioclasa (Grupo)	Fs (Grupo)	Plagioclase (Group)
Px, Pyx	Piroxeno (Grupo)	Px (Grupo)	Pyroxene (Group)
q, (qz, qtz)	Cuarzo	q (Grupo)	Quartz
rhc	Rhodocrosita	Carb (Clase)	Rhodochrosite
ser	Sericita	FSlc (Subclase)	Sericite
sid	Siderita	Carb (Clase)	Siderite
<b>Slc</b>	<b>Silicatos</b>	<b>CLASE Slc</b>	<b>Silicates</b>
sms	Smithsonita	Carb (Clase)	Smithsonite
srp	Serpentina (Grupo)	FSlc (Subclase)	Serpentine (Group)
tit (sph)	Titanita	Slc (Clase)	Titanite
tur	Turmalina	Slc (Clase)	Tourmaline
zir	Zircón	Slc (Clase)	Zircon

<b>TABLA 1</b> LEYENDA	CLASE SILICATOS
	CLASE CARBONATOS
	CLASE OXID / HIDROXIDOS
	CLASE HALUROS
	CLASE SULFATOS

## 2.- Caracterización microscópica con luz reflejada: criterios

El brillo responde a la percepción visual (subjetiva) de la Reflectancia Especular (que en sí es una medida objetiva<sup>3</sup>: **R**). El brillo es un dato muy importante para el reconocimiento de la gg. En efecto, **R** es la propiedad cuyo análisis sistemático ofrece resultados más útiles e inmediatos para apreciar en sus justos límites las posibilidades de caracterización de la gg con luz reflejada.

La Tabla 2 presenta una información complementaria de la que muestra la Figura 1: ofrece los valores de **R** (según Criddle, 1998: *Table 5*, p. 46, modificada y simplificada en Tabla 2<sup>4</sup>), medidos o estimados según la función de Fresnel:

$$R = \frac{(n - N)^2}{(n + N)^2}$$

en función de los índices de refracción **N** (del medio) y **n** (del mineral), para minerales transparentes (gg) o débilmente absorbentes (menas de baja reflectancia, como pirocloro, casiterita o cromita). En estos últimos (menas más o menos absorbentes), al adquirir valores significativos el coeficiente de absorción **k**, se le debe dar entrada en la fórmula de Fresnel<sup>5</sup> y **R** ya no depende únicamente de **n**, tanto con objetivos secos (aire,  $N \approx 1$ ) como de inmersión en aceite (con  $N=1.515$ ).

Lo primero que salta a la vista en la Tabla 2 es la inmediata separación natural de los minerales de gg (marcados con los mismos colores de fondo que en Tabla 1) y de las **menas**<sup>6</sup> (destacadas en **color verde**) en dos grupos caracterizados por reflectancias más bajas, los primeros, y más altas, las segundas, situándose el límite en  $R \approx 10\%$  (aire). Otro dato a tener en cuenta es la desaparición de la mayor parte de los minerales de gg en inmersión ( $R \approx 0\%$ ), lo que permite diferenciarlos de inmediato de la mena, al tiempo que evidencia la escasa utilidad de la inmersión para distinguir entre sí los minerales comunes de gg, los cuales se ven todos igualmente negros, como huecos vacíos.

Se constata también el fuerte predominio de silicatos y, en menor medida, carbonatos entre los componentes de gg, lo que contrasta con la escasa presencia de sulfatos, óxidos y haluros, aunque éstos pueden ser abundantes en ciertos depósitos. Por ejemplo, en la zona de oxidación supergénica de depósitos sulfurados, los dos primeros; en yacimientos estratoligados en rocas carbonatadas del *tipo Mississippi Valley*, la fluorita, que puede llegar a ser dominante e incluso beneficiada como mena principal (provincia metalogénica Illinois-Kentucky, USA).

---

<sup>3</sup> La *reflectancia especular*, **R**, se define por el cociente  $R = I / I_0$ , donde  $I_0$  es la intensidad luminosa incidente sobre una superficie reflectiva; **I**, la intensidad de la luz reflejada por ésta; siendo en ambos casos la incidencia ortogonal, es decir, el ángulo entre cada uno de estos rayos (incidente y reflejado) y la superficie es de  $90^\circ$ .

<sup>4</sup> Los valores presentados en esta Tabla 2 son sólo aproximados, indicativos, para facilitar la discusión. En rigor, no sólo hay que tener en cuenta los valores de **k**, según se indica en el texto, sino también la *birrefringencia*. Ésta, notable en muchos minerales, es tan acusada en algunos (*vbgr.* Carb, por ejemplo, calc: 1.49 a 1.66, *cf* valores **n** en Tabla 2) que se traduce en una *birreflectancia* manifiesta, perceptible directamente por el ojo humano, sin necesidad de reflectómetro.

<sup>5</sup> En efecto, cuando se trata de medios absorbentes u opacos (no transparentes), el coeficiente de absorción es significativo y para calcular **R** se debe introducir su valor en la fórmula de Fresnel:

$$R = \frac{(n - N)^2 + k^2}{(n + N)^2 + k^2}$$

<sup>6</sup> Se representan sólo algunas de las menos reflectivas, que resultan ser casi todas óxidos.

**TABLA 2: Minerales de ganga: Reflectancias (% R<sup>d</sup> y R<sup>o</sup>) en función de n**

N	% R <sup>d</sup> : aire	% R <sup>o</sup> : inm. Aceite	Minerales
1.00	0	0.4	Aire
1.33	2	0.04	Agua (1.33), Hielo (1.31)
1.42	3	0.01	Fluorita <i>fl</i> , ópalo (chert <i>ch</i> , jaspe <i>jas</i> : 1.43)
1.50	4	0.0	Cuarzo <i>q</i> , Ortosa <i>or</i> , calcita <i>calc</i> (1.49-1.66), Mica (1.54-1.61)
1.58	5	0.04	Barita <i>bar</i> , biotita <i>bio</i> , rodocrosita <i>rhc</i> (1.6-1.8), smithsonita <i>sms</i> (1.62-1.85)
1.65	6	0.2	Turmalina <i>tur</i> , olivino <i>ov</i> , malaq <i>mch</i> (1.66-1.91)
1.72	7	0.4	Hornblenda <i>hb</i> , Granate <i>Grt</i> (piropo), azurita <i>az</i> (1.73-1.84)
1.79	8	0.7	<i>Grt</i> (almand., uvarov.), cerusita <i>crs</i> (1.8-2.08)
1.86	9	1	<i>Grt</i> (andradita)
1.93	10	1.4	Titanita <i>tit</i> (1.9-2.03), zircón <i>zir</i> (1.93-1.97), lepidocrocita <i>lpc</i>
1.99	11	1.9	pirocloro <i>pyc</i> , azufre (1.96-2.25)
2.06	12	2.3	Casiterita <i>cst</i> (≈ 2.0), cromita <i>chr</i> (≈ 2.07 a 2.16)
2.13	13	2.8	Baddeleyita <i>bad</i> (2.1-2.2)
2.20	14	3.4	Tantalita <i>tan</i> (2.19-2.43)
2.26	15	3.9	Goethita <i>gth</i> (2.26-2.39)

Por fin, la presentación de la Tabla 2, ordenada según valores de R crecientes (incrementos del 1%) alineados con los correspondientes valores de n, evidencia una vez más que la gg habitual ocupa un intervalo muy restringido de reflectancias: 3% a 10%; aún más restringido para Ramdohr (1980, p. 1101<sup>7</sup>): 4% a 9½ %. Esta restricción es más acusada todavía si se consideran los minerales realmente frecuentes en los yacimientos habituales: cuarzo (o grupo de la sílice), filosilicatos y carbonatos del tipo calcita-dolomita, cuyas reflectancias se sitúan entre 3 % y 5 %.

No obstante, en los carbonatos la elevada birrefringencia se traduce en una notable birreflectancia (5 a 6 %), normalmente perceptible si se observan granos contiguos. Los restantes minerales de gg pueden llegar hasta R ≈ 10 %, con escasas excepciones (*vbgr.* anatasa o brookita: 18-19%, no representadas en la Tabla 2 y cuya presencia suele reducirse a trazas o integrarse en lcx).

Con todo, las diferencias de brillo que el observador debe percibir para distinguir visualmente, entre sí, las especies de gg, en general desafían el umbral de sensibilidad del ojo humano, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de minerales poco llamativos, oscuros, y que su brillo puede aparecer alterado por las reflexiones internas, que hacen que los valores medidos de R excedan con frecuencia en un 1%-2% de los teóricos. Todo ello obliga a recurrir, adicionalmente, a otras propiedades como información complementaria, para lograr una caracterización visual fiable hasta donde sea posible con luz reflejada.

A continuación, se aborda esta caracterización, mediante una descripción simplificada de los minerales de gg, tal como se observan al microscopio de reflexión, aunque sean transparentes. Se hace en un formato libre, ilustrado con fotomicrografías, pero sin seguir un modelo prefijado,

<sup>7</sup> Según este autor, con un poco de práctica se pueden llegar a estimar los índices de refracción a partir de la reflectancia relativa observada primero en aire y luego en aceite, utilizando una tabulación del tipo de la Tabla 2. En su opinión, con una observación muy cuidadosa se puede reconocer, como un ligero velo, una reflectancia tan baja como ¼ %, el equivalente R del índice n<sub>o</sub> de calcita en inmersión, mientras que una R de ½ % ya es perceptible. Estas observaciones comparativas ayudan a distinguir carbonatos.

riguroso, como se hizo para describir las menas, ya que sólo con luz transmitida puede realizarse una descripción sistemática de los minerales transparentes que tenga en cuenta todas las propiedades ópticas relevantes, como se hace para el estudio petrográfico.

Por su mayor abundancia, se describirán en primer lugar los silicatos y los carbonatos. Pero antes es importante recordar que la reflectancia de las **resinas epoxy** habitualmente usadas para la preparación de secciones pulidas se sitúa precisamente al nivel  $R \approx 4\%$  a  $5\%$ , igual que las especies de ganga más frecuentes, como cuarzo, ortoclasa, albita, sericita, calcita, etc. Esto no es un problema para el observador humano, ya que, aunque el color (gris) y brillo sean idénticos, el ojo mínimamente entrenado reconoce con facilidad los contornos de grano y así puede distinguir sin error ganga y resina. Para los sistemas automatizados, debe recurrirse a un método de preparación específicamente diseñado ([Anexo 3](#)). Los poros, **huecos** o arranques de la preparación se ven negros, dada su reflectancia nula (vacío), por lo que normalmente se distinguen sin dificultad.

### 3.- Clases más frecuentes de ganga. Reconocimiento.

En primer lugar y como preámbulo necesario para aproximarse a la identificación de las distintas especies, se ilustra la aplicación de los criterios que se acaban de exponer mediante la discusión de un ejemplo práctico, para caracterizar una muestra con mineralogía variada (cf. fotomicrografías [F gg1](#) y [F gg2](#)). Se trata de un concentrado mineralúrgico de scheelita (**sch**), mena de baja Reflectancia ( $R \approx 11\%$ ) y, por ello, susceptible de confusión con la gg para un observador apresurado (aunque su mayor brillo y sus RI, abundantes e incoloras, despejan las dudas). El problema ahora planteado es la distinción de las especies de gg entre sí, cosa que habrá de resolverse, en la medida de lo posible, por aproximaciones sucesivas.

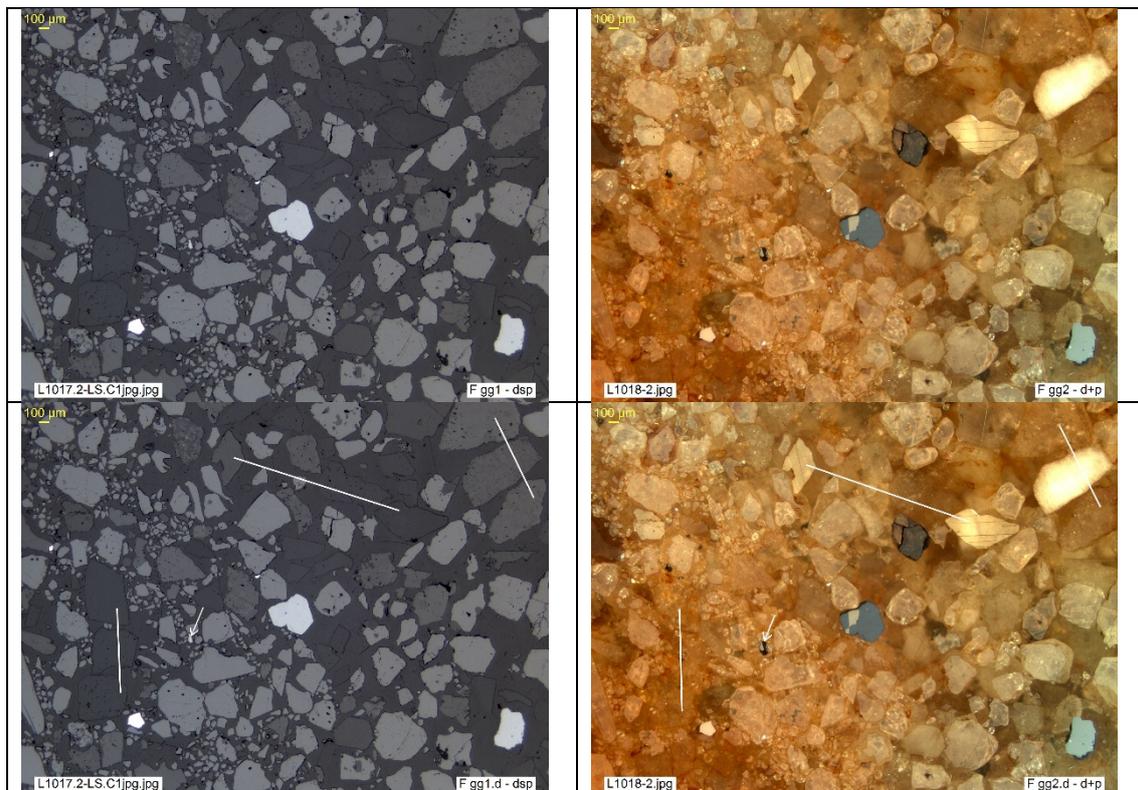
Entre las dificultades que plantea el reconocimiento de las distintas especies de gg con **LR** (Luz Reflejada), es notable la pérdida de información sobre propiedades importantes, incluso diagnósticas, que proporciona habitualmente el estudio con **LT** (Luz Transmitida). Hay serias limitaciones para determinar con LR las siguientes propiedades de minerales transparentes:

- *Color y pleocroísmo*: las especies de gg en LR suelen verse uniformemente grises, aunque hay casos en que se percibe algo del color. *vbgr.* malaquita, por efecto de unas **RI**, Reflexiones Internas, extremadamente intensas y coloreadas.
- *Exfoliación*: raras veces se percibe con claridad en gg, sobre la superficie pulida.
- *Índice de refracción, n*: no se puede determinar directamente como en LT (Línea de Becke), pero en cambio puede estimarse por el brillo, que depende del valor de R. Y éste, de n según la fórmula de Fresnel. De esta forma, pueden distinguirse también las especies con fuerte *birrefringencia*, como los carbonatos, ya que ésta se aprecia en LR como birreflectancia, es decir, variación del nivel de gris con la orientación.
- *Extinción y colores de interferencia (d+p)*: con frecuencia quedan totalmente enmascarados por la intensa luz difusa que se refleja desde el interior de los minerales transparentes (por las RI).
- *Maclas*: ocurre lo mismo que con la extinción; a pesar de ello, hay minerales, como los carbonatos, en los que suelen verse (*d+p*) y pueden ser diagnósticas.

Es, en cambio, una fortaleza relativa de la LR la posibilidad de determinar fácilmente, según se ha explicado, los valores objetivos y precisos (multiespectrales) de R, los cuales permiten la caracterización automatizada mediante visión artificial y sus aplicaciones industriales en problemas de Recursos Minerales y Geometalurgia (*Sistema AMCO*).

Es precisamente la estimación visual del valor de R en las *especies* de gg, el punto de partida usual para su caracterización. En efecto, la comparación del brillo (o *nivel de gris*) proporciona un criterio de selección inmediato para asignar cada componente a alguno de los tramos o categorías establecidas para los valores de R apreciados en la muestra.

En el caso analizado, el intervalo de variación de R es relativamente grande: desde el 4 % (cuarzo, resina...) hasta cerca del 60 % (acero, resultante de la contaminación del concentrado por esquirlas desprendidas en el proceso de molienda: tres minúsculas partículas, blancas y muy brillantes en F gg1), como se puede deducir de los minerales presentes (cf. F gg1) y de sus valores de R (cf. *Gráficos de Reflectancia Especular*). No obstante, únicamente son frecuentes los valores  $R \leq 11$  %. Es decir: la mena, sch ( $R \approx 11$  %), y los demás minerales grises (más oscuros que sch:  $R < 11$ %).



**F gg1** y **F gg2** (Misma escena, **dsp** y **d+p**). Concentrado de molienda de W-skarn, compuesto esencialmente por minerales transparentes, incluido el mayoritario: la mena scheelita (*sch*). Por orden de R decreciente (tono gris, cada vez más oscuro): trazas de acero de molienda (tres micro-esquirlas blancas, brillantes), rutilo y wolframita (*rt*, *wf*: tres granos, blanco-grisáceos), *sch* (gris claro), *Px*, *Ep*, *Carb*, *Plag* y, finalmente, *q* y resina *epoxi*. Con analizador (F gg2), el anisotropismo se aprecia con nitidez en *rt* y *wf*, no así en los demás componentes (lo ocultan las RI); se observan maclas en *rt* y en *Carb* (cf. F gg2.d) y el acero muestra típico pseudo-anisotropismo. *Muestra C1, Mina Los Santos, Cáceres*.

**F gg1.d** y **F gg2.d**. Mismas imágenes anteriores, sobre las cuales se han señalado con líneas y flecha blancas los minerales discutidos en el texto. La flecha indica una minúscula partícula de *wf*. Los extremos de la línea WNW-SSE (centr sup) reposan sobre sendos granos de *Carb* (*calc* o *dol*) que muestran su característica birreflectancia (distintos tonos de gris: F gg1.d) y finas maclas polisintéticas (F gg2.d). La línea NNW-SSE (sup dcha) une tres granos de gg con R más alta (tono gris intermedio, F gg1.d) y RI incoloras (F gg2.d): CPx y/o Ep (clinozoisita). Y la N-S (*izq*), tres granos de *q* (gris muy oscuro, como la resina).

Son muy escasas las excepciones: aparte del acero –*artefacto* de origen externo-, sólo las tres partículas descritas como *blanco-grisáceas* (F gg1): dos hacia el centro (una de ellas, minúscula, señalada con una flecha en F gg1.d y -2.d) y una hacia el ángulo inf dcho de la imagen. El examen visual estima para éstas un valor R entre 20 % y 25 %: ciertamente > 11 % pero << 60 %. La curva espectral de dos de estas partículas -la mayor, euhédrica, en el centro, y la del áng inf dchº de la imagen- sugiere probable rutilo, **rt** (o posible brookita, **bk**<sup>8</sup>), mientras que la tercera (minúscula, Ø ≈ 0.1 mm, algo más oscura) es probable wolframita, **wf**.

Los restantes gráficos R (con referencia también a hematites, **ht**, titanita, **tit**, casiterita, **cst**, ausentes en la imagen), acotan todas las especies minerales presentes: R < ht. Y, prescindiendo de rt o wf, las especies comunes de gg, de las cuales nos ocuparemos a continuación, se sitúan entre los umbrales R < tit, cst o sch, y R ≥ q (cuarzo y resina), es decir, entre ≈ 5 y 10 %.

Para reconocer los minerales de gg, se procede por aproximaciones sucesivas. A fin de facilitar el seguimiento, se señalan en imágenes duplicadas (F gg1.d y F gg2.d) las especies discutidas en el momento. En primer lugar, se pueden distinguir las fases más oscuras o de mínima R (en torno a 4 %), que comprenden la resina *epoxi* y minerales: como q y **or** (ortosa) o feldespatos alcalinos (**Fs**), según muestra la Tabla 2. Se han unido con una línea blanca (F gg1.d, izq.) tres granos de q que corresponden a este valor, idéntico al de la resina: su aspecto es similar y, si no se confunden con ella, es únicamente porque el ojo humano, con ayuda del cerebro, interpreta la imagen y distingue perfectamente cada grano, identificando su contorno.

En segundo lugar, se señalan mediante la línea central los dos granos situados en cada uno de sus extremos, los cuales tienen distinto brillo: el de la dcha., más oscuro, parece q (R ≈ 4 %), mientras que el de la izq es netamente más claro, aunque siga siendo relativamente oscuro (en comparación con los minerales señalados por la línea tercera y, por supuesto, con respecto a sch): se puede estimar su R en ≈ 5 %. Podría parecer que son especies diferentes, pero si se observan con analizador (F gg2.d: *d+p*), se constata que los dos tienen maclas idénticas, típicas de **calc** (calcita), la cual es birreflectante, como en general los carbonatos. La variación de estos valores de R no se debe a una diferencia mineralógica, sino a la distinta orientación de los dos granos y es diagnóstica de calc, al evidenciar la birreflectancia (efecto de su característica birrefringencia, con valores de n entre ≈ 1.5<sup>-</sup> y ≈ 1.6<sup>+</sup>).

La tercera línea (ángulo superior dcho.) une tres granos relativamente claros de gg, aunque siempre más oscuros que sch. Corresponden a minerales con un valor de n en el rango más alto de la gg y sin la acusada birrefringencia de los carbonatos. Puede estimarse su R en torno al 7 %, lo que correspondería a un rango de n en torno a 1.7 (≈ 1.65 a 1.75). Representan especies relativamente frecuentes en la gg de esta muestra: **CPx** (clinopiroxeno), **Ep** (epidota o clinzoisita), granate, clinofibol... y sus alteraciones hidrotermales, cuya identificación segura requeriría estudio petrográfico.

Por fin, un examen atento descubre algunos granos de brillo intermedio entre estos dos últimos grupos (R ≈ 5 % a 6 %), que pueden a veces identificarse (apatito, plagioclasa) por su morfología u otras propiedades. Son evidentes también, por su textura, algunos agregados o microbrechas con matriz arcillosa o criptocristalina (sericita), en relación con procesos de deformación y alteración secundaria.

---

<sup>8</sup> Los dos minerales, rt y bk, son polimorfos (TiO<sub>2</sub>), de aspecto parecido al microscopio. Los valores espectrales medidos -cf. *Gráficos R-* podrían ser válidos para ambos, pero las restantes propiedades sugieren más bien rt. No se ven sus RI, ya sea por opacidad (variedades ricas en W: Bowles et al., 2011), ya por posible sobresaturación luminosa del entorno (minerales con RI muy abundantes: cf. F gg2).

