

# MINAS DE CALA

*La masa de magnetita de Huelva*

Instalaciones de concentración de Minas de Cala, con las líneas de hierro y de cobre.  
Detrás, bermas de la corta abierta sobre la Sierra del Castillejo.  
Foto: Cortesía de Presur.





*Geología del skarn más importante del SW español:  
Contacto de la masa de magnetita con las calizas dolomitizadas.*



*Una operación minera que comenzó subterránea:  
Dúmper Komatsu HD-785 de 78 t a la salida de trituración.*



*Especies de colección que aún pueden encontrarse:  
Cristales cubo-octaédricos de skutterudita de un filón Co-Ni.*

# MINAS DE CALA

## EL HIERRO CON COBRE

**Autores:** Manuel GARCÍA (\*). Capítulo de Geología  
Gonzalo GARCÍA (\*\*). Capítulo de Historia  
Miguel CALVO (\*\*\*). Capítulo de Mineralogía

(\*) PRESUR ; (\*\*) BOCAMINA ; (\*\*\*) Museo de CC. Naturales de Álava.

### INTRODUCCIÓN

**L**AS Minas de Cala se encuentran en el suroeste de España, donde la provincia de Huelva se encuentra con Badajoz (Hoja nº 918 del Mapa Geológico de España escala 1: 50.000, “Santa Olla del Cala”). Esta zona, conocida como El Andévalo, tiene importantes antecedentes mineros que se sustentan en las notables minas de oro del Grupo Minero de La Sultana - San Rafael, y las propias explotaciones de Cala, aunque en la misma Hoja existen también indicios de plomo y baritina que han sido objeto de explotación y de pequeñas labores.

Tanto en Cala como en La Sultana está probada la presencia y la actividad romana.

Durante el siglo XX la Mina de Cala experimentó su auge de producción e importancia, primero como mina de cobre y luego de hierro, hasta su decadencia en la década de los noventa, que llamativamente ha conseguido subsistir al cambio de siglo.

Geológicamente, Cala es un yacimiento de tipo skarn, formado en el contacto entre una roca plutónica (granodiorita) y una serie carbonatada cámbrica. Ambos materiales, reconocibles en los taludes de la mina a cielo abierto (cortas “Manuel” y “Mercedes”, actualmente unidas), abrazan una masa de magnetita masiva que constituye la principal mineralización económica.

Marginalmente se superpone parcialmente una mineralización hidrotermal de cobre con un gossan asociado, que fue el que primeramente detectaron y laborearon los romanos.

Desde el punto de vista mineralógico, Cala es un yacimiento bastante popular por algunas de las especies de su paragénesis, como el granate, la epidota, la calcita y algunos secundarios de cobre. Más recientemente, han sido localizadas skutteruditas, niquelinas y calcopiritas relevantes a nivel español.

La magnitud de los trabajos emprendidos a cielo abierto configuran un entorno de alto interés mineralógico, que solamente ha podido ser muestreado con detalle gracias a la paciencia de múltiples coleccionistas



Las enormes esombreadas de las Minas de Cala son la seña de identidad de este conocido yacimiento de magnetita. El impacto es indiscutible, pero conviene analizarlo desde una perspectiva más completa que la exclusivamente paisajística. Cada vez que se restaura una mina, mejoramos en paisaje pero perdemos un patrimonio geológico que nunca se valora adecuadamente. Foto: G. García.



que, especialmente desde el descenso de actividad en la mina, han inspeccionado los diferentes materiales de la corta.

En la actualidad, con la producción de magnetita muy disminuida y cuando comienzan a plantearse alternativas de restauración ambiental de la zona minera, sería deseable que cualquier proyecto de esta naturaleza incluya como elementos patrimoniales a conservar todas las instalaciones que se mantienen, o que se considere el interés de la corta como escenario geológico para estudio y enseñanza, aparte de los posibles puntos de valor mineralógico. Ello aportaría un sentido extraordinario al mero y exclusivo enfoque restaurador que habitualmente tienen como directriz básica estos proyectos de cierre.

## LOCALIZACIÓN

La mina de Cala se encuentra en la Sierra del Castillejo, un paraje de típica dehesa onubense enmarcada dentro del Parque Natural de “Sierra de Aracena y Picos de Aroche”, en la zona más occidental de Sierra Morena, caracteri-

zado por la alternancia de pequeñas sierras y penillanuras. El pequeño poblado minero de Minas de Cala depende de Cala, como principal núcleo de población de un término que se extiende por 8.394 Ha dedicadas mayormente a la agricultura y a la ganadería, con el reseñable impacto que la minería tuvo sobre la economía y la población durante el esplendor de las explotaciones de Cala, Sultana y Teuler.

Cala, como cabeza de término, tiene conexión con Fregenal de la Sierra por la carretera C-434 y enlaza con la N-630 de Gijón-Sevilla, más conocida como “Ruta de la Plata”. Las minas son accesibles desde Cala por una carretera de 5 km que conduce directamente a las instalaciones de la empresa Presur (Prereducidos Integrados del Suroeste de España, de la corporación estatal SEPI).

## CONTEXTO GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento de Minas de Cala se en-

## ABSTRACT

*The Cala mines are between the most important skarn deposits in southwest Spain. Roman mining activity has been documented in the area but full-scale mining was not underway until the twentieth century. At present production is marginal, however from a mineralogical perspective the mine contains classic mineral species such as garnet and calcite. Recently an interesting cobalt-nickel paragenesis in a localized vein has also been found.*

cuentra situado en el flanco sur del antiformal Olivenza-Monesterio, dentro de la zona de Ossa-Morena.

Este flanco sur se caracteriza por encontrarse invertido, y en él afloran materiales del Paleozoico afectados por la tectónica hercínica.

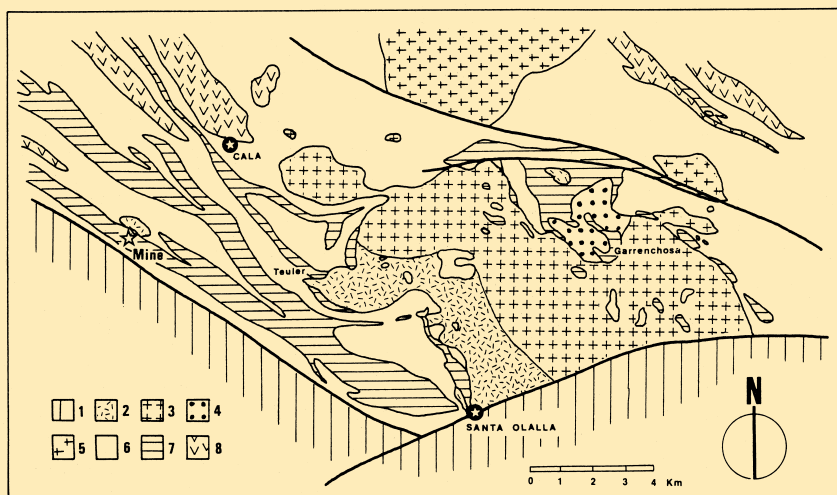
Aunque la estructura presente, en su conjunto, es de fase II (pliegues isoclinales a todas las escalas, buzantes hacia al SW y localmente con esquistosidad de crenulación asociados con fallas inversas de dirección NW-SE),



Grupo de cristales aciculares de malaquita, encontrados en el gossan cobrizo de las Minas de Cala. Encuadre: 10 mm. Colección y foto: F. Piña.



Imagen aérea de la corta de explotación del skarn de Minas de Cala, hacia 1992. Perspectiva desde el sureste hacia el noroeste. En primer término, trabajos de la corta “Mercedes”, con una corrida de 650 m y un gossan cobrizo. Al fondo, la corta “Manuel”, con 550 m de longitud de la masa de magnetita (color oscuro, en la parte central de la excavación). Foto: cortesía de Presur, S.A.



Esquema geológico del área de Santa Olalla, según Velasco y Amigó, (1981).

1 - Pizarras y grauvacas devónicas ; 2 - Granitos y granodioritas ; 3 - Tonalita y cuarzodiorita ; 4 - Diorita y gabbro ; 5 - Granito de Monesterio ; 6 - Areniscas, grauvacas cámbricas ; 7 - Calizas, dolomías, skarn y mármoles cámbricos ; 8 - Pórfidos.

las deformaciones de fase I fueron más penetrativas (grandes y metamorfismo regional de bajo grado). Asociados a esta fase de deformación, aunque posteriores, se originan cabalgamientos de vergencia S-SW. Finalmente, actuó una tectónica de fractura con fallas inversas y de desgarre senestrales de dirección WSW-ENE y W-E.

Estos materiales del Cámbrico se encuentran atravesados por intrusiones de granitoides intercinemáticos que presentan una morfología alargada según las directrices hercínicas y que formarían parte de un conjunto de intrusiones graníticas que afectan a todo el anticlinorio de Olivenza-Monesterio, algunos de los cuales están en relación con yacimientos

de magnetita (minas “Monchi”, “La Bóveda”, “La Bilbaína”, “San Guillermo”, “Cala”, “Teuler”, “El Pedroso”, etc), con desarrollo de una aureola de metamorfismo de contacto.

## DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

### Litologías encajantes

La sucesión premetasomática que se encuentra representada en el yacimiento de Minas de Cala, de muro a techo, es la siguiente:

**-Formación detrítica inferior:** compuesta por un tramo basal formado por 200 metros de cuarcitas, pizarras y grauvacas y una parte superior de 800 m de alternancias de areniscas feldespáticas y pizarras arcillosas grises y violáceas con estructuras “kramencel”.

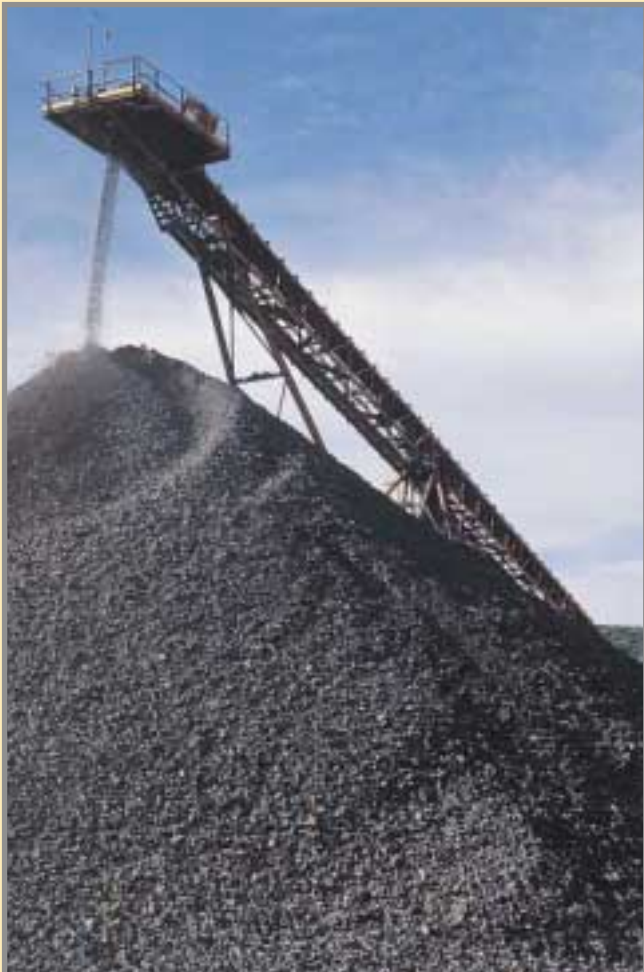
**-Formación carbonatada:** compuesta por calizas de grano fino, gris claro, azuladas o blancas en bancos de 15 cm - 50 cm, con bandeado a escala



## MINAS DE CALA



La corta "Manuel-Mercedes", con el talud de calizas y dolomías cámbricas (izquierda de la imagen), subiendo de cota la Sierra del Castillejo. A la derecha de la foto, intrusión de granodioritas. En el contacto, el skarn mineralizado. Foto: G. García, 11/1998.



Stock 0 mm -100 mm. Tras una concentración por separación magnética, el estéril se flota para recuperar el cobre. Foto: G. García, 11/1998.



Masa de magnetita masiva, mostrando su fracturación. Su potencia media es de 35 m, aunque localmente llega a alcanzar 130 m, incluyendo algunas esterilidades. Foto: F. Palero.



# MINAS DE CALA



Otra vista de la corta "Manuel", con detalle de la zonación del skarn. El mineral de "Manuel" también tiene importantes zonas cobrizas. Obsérvese el cale con galerías antiguas sobre la masa oscura de magnetita. En la vertical de la excavadora de cables, una pala de ruedas carga magnetita sobre un dúmper. Foto: A. Arribas.



Cristal de epidota de 1,5 cm, con cuarzo. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.  
Derecha: Columna estratigráfica del Cámbrico de Minas de Cala, según Vázquez Guzmán (1970).



centimétrica y una potencia total de 350 m.

**-Formación detrítica superior:** con unos 300 m de pizarras grises y violáceas con estructuras "kramencel".

Todos estos materiales son de edad Georgiense (Cámbrico-Inferior).

## Rocas Ígneas

La roca ígnea presente consiste en un pequeño stock granodiorítico de

forma ovoide con una extensión de unos 1.000 m x 400 m, con cierto aspecto fungiforme (comprobado en galerías). Este stock presenta una aureola de corneanas de un espesor de unos 50 m - 60 m, que se prolonga anómalamente hacia el E.

## Metasomatismo

La zona de contacto de la granodiorita con la formación carbonatada

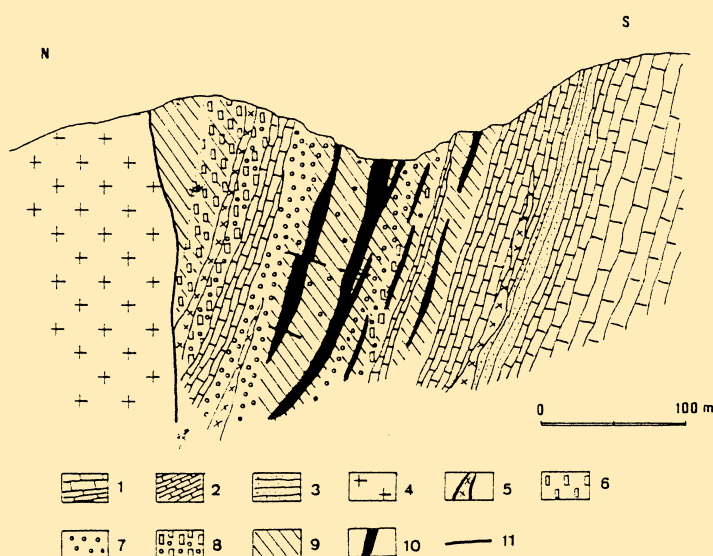
ha sido metasomatizada intensamente, ocupando una longitud y anchura similar a las del stock granodiorítico.

Este metasomatismo que se prolonga anómalamente hacia el E, presenta una zonación interna, algo irregular pero bastante concéntrica en la que se pueden distinguir, desde la parte más externa hacia el interior, las siguientes zonas:

\* *Zona dolomitizada:* muy discontinua y deshilvanada, asociada a fracturas.



Contacto entre la granodiorita (a la izquierda, color claro) y la granitita. Foto: A. Arribas.



Sección simplificada del skarn de Minas de Cala en dirección Este (Velasco y Amigó, 1981).  
1- Calizas y dolomías; 2- Mármoles y corneanas cálcicas; 3- Esquistos micáceos; 4- Granodiorita; 5- Diques de diorita porfídica; 6- Skarn piroxénico (salita); 7- Skarn granatífero; 8- Skarn de piroxeno-granate; 9- Aposkarn; 10- magnetita; 11- Falla.

\* **Zona de skarns:** bastante compacta, pudiendo presentar “caballos” de dolomía o de caliza. Dentro de ella se pueden distinguir tres tipos de skarn:

**Skarns silíceos,** bandeados con piroxenos, carbonatos y abundantes jaspes. Son más abundantes en la periferia del skarn.

**Skarns granatíferos,** heterogranulares y con macrocristales de grossularia-andradita y cantidades variables de calcita, epidota, actinolita y cuarzo.

**Skarns piroxénico-anfibólicos,** de grano fino, compuestos por diopsido, hedembergita con epidota, pla-

gioclasas cálcicas, escapolita, tremolita, clorita, granates, wollastonita y cantidades variables de magnetita.

**Skarns piroxénico-anfibólico-magnetíferos,** similares a los skarns piroxénicos pero con un contenido de magnetita que puede llegar a ser de hasta del 90 %. También contienen, aunque generalmente en escasa cantidad, pirita y calcopirita.

Esta zonación es meramente espacial, formando los skarns cuerpos lenticulares que siguen la dirección de las formaciones carbonatadas y cuarzo-pelíticas metamorfozadas por contacto por la granodiorita. Los skarns piroxénicos-anfibólicos constituyen la

*La Mina de Cala es un yacimiento de tipo skarn, formado en el contacto entre una roca plutónica (granodiorita) y una serie carbonatada cámbrica.*

masa volumétrica fundamental del área metasomática, pero los cuerpos de skarns granatífero se hallan tan íntimamente inmersos en ellos y los límites entre ambos son tan difusos en ocasiones, que constituyen un conjunto por heterogéneo que éste resulte.

## TECTÓNICA

La única estructura a considerar en esta área es el sinclinal de Herrerías, que es un pliegue de tipo similar de plano axial subvertical y de dirección NW-SE, en cuyo núcleo está situada la formación detrítica superior, y en cuyas calizas del flanco sur se encuentra situada la mineralización de magnetita. En las pizarras de este sinclinal se puede observar la presencia de una esquistosidad de flujo subparalela a la  $S_0$  en los flancos y oblicua en el núcleo del sinclinal.

La dirección de los estratos se encuentra algo distorsionada por efecto de la intrusión, pasando de ser de unos  $115^\circ - 125^\circ$  en la zona W hasta  $90^\circ - 110^\circ$  en la zona E. El buzamiento se mantiene constante en todo el área, entre  $60^\circ$  y  $80^\circ$ , siempre hacia el N o el NW.

En lo referente a fracturación no existe ninguna estructura maestra que atraviese la zona, existiendo tres familias principales de fracturas:

1º) Fracturación de dirección ESE-WNW y buzamiento de  $60^\circ$  al S con frecuencia decamétrica.

2º) Fracturación de dirección ENE-WSW y buzamiento  $70^\circ - 80^\circ$  al N con frecuencia decamétrica.

3º) Fracturación posterior de tipo compresivo, que da lugar a escamación con vergencia hacia el SE e inclinación de  $30^\circ - 50^\circ$ .





Cristales de skutterudita, de 1 cm. Colección: B. Sáinz de Baranda. Foto: F. Piña.



CAT-992 en trabajos de carga de estéril (roca intrusiva de color claro) para limpieza del skarn mineralizado, en el extremo sureste de la corta "Manuel". Foto: F. Palero.

## MINERALIZACIÓN

El yacimiento de Minas de Cala se puede considerar entre los denominados yacimientos ígneo metamórficos, en relación con rocas carbonatadas o de tipo skarn. Estos skarns están formados por silicatos ricos en óxido de calcio producidos por la introducción de silicio, aluminio, hierro y magnesio en los carbonatos ricos en calcio y magnesio. Los cuerpos minerales son frecuentes en los skarns y generalmente se introducen después de que los skarns se hayan formado.

En contraste con la mineralogía, los minerales de mena existentes son normalmente sulfuros sencillos y óxidos. Los óxidos están frecuentemente dentro del skarn, formando parte integral de la roca metamórfica, a veces se concentran próximos a la masa intrusiva y otras aparecen a lo largo del borde exterior. Los sulfuros se suelen concentrar a lo largo de la periferia del skarn y normalmente se emplazan con posterioridad.

La mineralización consiste en masas de magnetita que pueden contener

cantidades apreciables de piritas y calcopirita, lenticulares, irregulares, interconectadas a veces y con abundantes intercalaciones estériles, pero que siempre se hallan orientadas según la dirección y buzamiento de la estratificación, describiendo las mismas distorsiones que las calizas que las circundan. Presenta una corrida o longitud de unos 1.100 m con una potencia de 35 m, aunque varía de unas zonas a otras, llegando a alcanzar en su punto máximo los 130 m, incluyendo zonas de estéril intercaladas. En profundidad está bien reconocido hasta unos 120 m por debajo del fondo de la corta.

Los minerales metálicos presentes en la mineralización son los siguientes:

- \* **Magnetita** como mena principal
- \* **Pirita** abundante acompañando a la magnetita.
- \* **Calcopirita** subordinada.
- \* También se han encontrado en cantidades discretas sulfuros, algunos con carácter secundario, tales como

calcosina, covellina, marcasita, pirrotina, etc, y óxidos como hematites y calcotriquita.

La magnetita se presenta en cristales de idiomorfos a alotriomorfos, dispersa en los materiales de skarn o masiva en contacto neto con corneanas, rocas silicatadas o granitos. Puede presentar procesos de martitización (transformación a hematites). Su depósito sería relativamente tardío en relación a los materiales del skarn.

La pirita se puede presentar diseeminada, formando nódulos o bandas que pueden alcanzar hasta 1 m de espesor. Su formación, en su mayor parte, es más o menos simultánea a la de la magnetita.

La calcopirita se presenta en granos aislados, formando fajas o bien constituyendo rosetones y configuraciones de diversas dimensiones. En su mayor parte se ha depositado con posterioridad a la magnetita y a la pirita y a favor de una serie de fisuras. Este depósito puede estar acompañado por algo de magnetita y pirita, con una ganga de carbonatos y cuarzo.



*La masa de magnetita presenta una corrida de 1.100 m con una potencia de 35 m, aunque llega a alcanzar hasta 130 m. En profundidad está bien reconocida hasta 120 m por debajo del fondo de la corta.*

Sobre la génesis de este yacimiento se han establecido hipótesis que van desde un origen sedimentario hasta otros meramente metasomáticos. Con los datos existentes en la actualidad, se podría considerar que la mineralización es metasomática de origen, y aunque está claramente relacionada con el stock granodiorítico, no se ha derivado lateralmente de él. También habría que considerar la existencia de sedimentos (formación detrítica inferior) que podrían aportar cantidades de hierro. El cobre podría corresponder a una fase hidrotermal posterior.

## HISTORIA

Los orígenes mismos de la población de Cala, sin duda antiguos, se suponen ligados a alguna clase de actividad minera, tanto a los filones auríferos de “La Sultana” como a los minerales cobrizos del gossan de Cala. Entre los restos arqueológicos de la zona, destacan los vestigios de “El Trastejón” y “La Papúa”, en término de Zufre, lindante con Cala, donde está documentado un poblamiento de la Edad del Bronce, hace unos 3.000 años. En otras investigaciones realizadas en la Sierra del Castillo (término de Cala), se han identificado restos calcolíticos (2.700 a 1.800 antes de nuestra era).

No habiendo constancia alguna de colonización fenicia, más intensa fue sin duda la huella de la presencia romana, de la que aún permanece una inscripción del primer cuarto del siglo I d.C. adosada a los muros de la Ermita de la Virgen de Cala. La actividad minera de los romanos resulta evidente porque todavía en 1992 los



Costras de crisocola (silicato secundario de cobre), en las juntas del mineral cobrizo de la corta “Mercedes”. Foto: F. Palero.



Vetillas de pirita-calcopirita en la magnetita masiva. Foto: F. Tornos.



Cristal de ferropargasita uralitizado de 2 cm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.

trabajos en la corta “Mercedes” de Minas de Cala seccionaban las antiguas galerías y escoriales de aquel Imperio. Deligny (1863), relata la apertura de un antiguo socavón donde se descubrieron los cadáveres de 18 mineros romanos con sus trajes y herramientas.

La etimología de Cala procede del término Callentum, de origen greco-romano, que viene a significar “hermosa”.

El asentamiento romano fue después ocupado por los visigodos y árabes, los cuales levantaron durante el siglo XII la actual fortaleza de Cala (popularmente conocida como “El

Castillo”), al amparo de la cual fue creciendo la ciudad a modo de caserío, sin una actividad minera asociada significativa. Tras la dominación árabe, Fernando III El Santo, reconquista la ciudad entre los años 1246 y 1248 con tropas acaudilladas por Pelay Pérez Correa. Tras la ocupación, “El Castillo” retoma su carácter militar frente a las incursiones portuguesas. Posteriormente, en el repartimiento de Alfonso X El Sabio, hijo de Fernando III, se adjudica este territorio como Señorío a la ciudad de Sevilla, como dominio de realengo, con semejantes fueros y privilegios para sus habitantes.





Vistoso ejemplo del skarn silíceo: color rojizo = chert ; color negro = anfíbol ; color verde = diópsido -actinolita. Foto: A. Arribas.



Arriba: detalle de la zona del filón de cobalto-níquel, identificado en noviembre de 1999. Foto: M. A. Amaya. Debajo: Cintas de producción de hierro (izquierda) y estéril cobrizo (derecha). Foto: G. García.



Cristales de ferropargasita liberados con ácido. Tamaño: 5 cm. Colección: M. A. Amaya. Foto: F. Piña.

Desde entonces, la comarca experimenta una llegada de inmigrantes originarios de la zona de León, que promueve la importancia de la población, siempre al amparo de la explotación de los recursos naturales, ganadería y agricultura, y la artesanía del vidrio durante la Baja Edad Me-

dia y siglos posteriores. El estado actual de la fortaleza de “el Castillo” es ruinoso, siendo urgente su reparación.

El retrato de Mádoz (1847) sobre Cala describe el perfil de la pequeña villa “sobre un terreno áspero y bañado por el río Cala, se crían encinas y alcornoques que sirven para leña (...)

hay producciones de grano de todas clases, bellota y aceite; hay cria de ganado cabrío, vacuno y cerdos; caza de conejos, perdices y muchos lobos”.

Es precisamente a finales del siglo XIX, cuando nuevamente las minas son centro de atención y comienzan a recobrar su papel protagonista como motor de la economía comarcal.

Este resurgimiento está protagonizado por una compañía portuguesa que impulsa la explotación de minerales cobrizos por métodos subterráneos, llegando a montar una fundición para los mismos. En esta etapa se abren dos socavones en los extremos norte y sur de la masa, con objeto de reconocer la corrida del yacimiento. La labor principal de extracción y transporte, llamado socavón “La Domineza”, se sitúa 80 metros por debajo de las galerías romanas, y se reconocieron leyes entre el 7 % y el 8 % de cobre, explotando los cobrizos desde los mencionados socavones.

A la compañía portuguesa siguió una empresa inglesa, quienes pasaron a considerar el hierro como principal mineral de interés del yacimiento.





Las pseudomorfosis de crisocola sobre malaquita son muy frecuentes en el gossan cobrizo, y a pesar de su pequeño tamaño, constituyen unos ejemplares muy vistosos e interesantes del yacimiento. Encuadre de 20 mm. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



Rosas de hierro de hematites, sobre dolomita. Encuadre de 3 cm. Colección: J. Arincón. Foto: F. Piña.





**Voladura de producción en la zona de Levante de la corta. Julio de 1992. Foto: J.C. Sancho.**



**Antiguo embarcadero de la "Sociedad Anónima Minas de Cala" en San Juan de Aznalfarache (Sevilla), donde los minerales llegaban desde Cala por un ferrocarril de 98 km de recorrido. Esta instalación entró en servicio en la primera década del siglo XX, y era utilizado además por las minas del Castillo de las Guardas, Aznalcóllar y Peña del Hierro . Cortesía de Presur.**

En 1901, las minas pasaron a una compañía de empresarios vizcaínos que constituyeron la "Sociedad Anónima de Minas de Cala", etapa que merece ser destacada.

Esta empresa construyó, entre 1902 y 1904, un ferrocarril de vía estrecha (1 metro de ancho) de 98 km que enlazaba las minas con San Juan de Aznalfarache, en Sevilla, donde también construyeron un embarcadero sobre el río Guadalquivir. Este ferrocarril tuvo en sus inicios diversos ramales, sirviendo no sólo para el transporte de minerales, sino también para desplazamiento de viajeros y otras mercancías. Por ejemplo, los mi-

nerales del yacimiento de piritas cupríferas del Castillo de las Guardas (Sevilla), llegaban a través de un ramal que enlazaba en El Ronquillo con el ferrocarril de Cala. Además, la construcción del ferrocarril tuvo lugar empleando materias primas del país: Altos Hornos de Vizcaya (que luego pasaría a ser cliente comprador de mineral de hierro) suministró los carriles (americanos de 32 kilos), la Española de Construcciones Metálicas los cambios de vía, Astilleros del Nervión los tramos metálicos y la fábrica bilbaína de Mariano Corral todos los vagones de mercancías y carruajes de viajeros de todas clases. Sólomente

las locomotoras fueron encargadas en Berlín (Revista Minera, 1904). El parque móvil de la empresa era de consideración, con 7 locomotoras grandes, 3 pequeñas, 1 coche salón, 4 coches mixtos de 1ª y 2ª, 8 coches de 3ª clase, 4 furgones, 26 vagones cerrados, 6 vagones jaulas, 32 vagones cunas, 25 vagones plataformas, 231 vagones tippings y 1 vagón contraste. El coste del ferrocarril superó las 110.000 pesetas (de la época) por kilómetro construido, pero el servicio de transporte que prestó fue extraordinario, con el mérito añadido de ser una inversión en la que no se recurrió a la financiación ajena, todo fueron fondos propios de la compañía, a excepción de una línea de crédito de 2 millones de pesetas que les concedió el Crédito de la Unión Minera, de Bilbao, para complementos y finalización de obras. En 1906 circulaban cuatro trenes diarios en cada sentido, transportando cada uno 280 t de magnetita. En 1907, la compañía de Minas de Cala finalizó la construcción de un segundo embarcadero en San Juan de Aznalfarache, el cual pasó a ser compartido por las compañías mineras de "La Caridad" de Aznalcóllar y la del Castillo de las Guardas, aparte naturalmente de las Minas de Cala (Revista Minera, 1907). En 1910, el Consejo de la Sociedad de Minas de Cala aprobó la construcción de otro ramal ferroviario que daría servicio al yacimiento de Teuler, próximo a Cala y que sin embargo era trabajado por otro titular. El ramal, de 18 kilómetros entre Teuler y Zufre (kilómetro 21 de la línea Cala-Sevilla), se inauguró el 25 de julio de 1913. Ese año, también se encontraba en construcción un nuevo ramal que, conectando con el ramal del Castillo de las Guardas y después con el de Cala, daría servicio a la mina de pirita de "Peña del Hierro", frente al Cerro Colorado de Riotinto, que construía la "Peña Copper Company" y que había de generar un tráfico conjunto de suma consideración. En 1910 se transportaron 236.186 t de mineral de Cala (330.609 incluyendo las piritas del Castillo de las Guardas y Aznalcóllar).

El servicio de viajeros fue interrumpido en 1936, y el de mercancías a finales de los años 50 (Poregil, 1995). Es significativo el hecho de elegir como destino el río Guadalquivir en Sevilla y no el puerto de Huelva, lo que subraya el fuerte vínculo tradicional de Cala con la capital hispa-





Inauguración del ferrocarril en 1905. Foto: Cortesía de Presur.



El ferrocarril minero de Cala a Sevilla transportaba minerales, mercancías y pasajeros. Actualmente ha sido desmantelado. Foto: cortesía de Presur.

lense. En la actualidad este ferrocarril se encuentra desmantelado.

Tras el paréntesis que supuso la guerra europea, se reanudaron los labores comenzando la extracción a cielo abierto, en virtud de la disposición espacial de la masa de magnetita. Estos trabajos no alcanzaron importancia, debido básicamente a problemas de la competencia extranjera y el elevado contenido en azufre de la magnetita de Cala, que perjudicaba la posterior metalurgia del concentrado.

A finales de los años 60 se impulsan nuevamente las explotaciones, haciéndose la extracción fundamentalmente por métodos de interior. A partir de 1970, se reactiva la producción total a cielo abierto, obteniéndose concentrados de hierro y cobre.

Durante los años 70, la titularidad del yacimiento la ostenta "Minera del Andévalo, S.A.", empresa española vinculada a Jorge Doestch que trabaja con intensidad en la producción de concentrados de hierro y cobre. Esta empresa era a la vez explotadora de otros depósitos similares en el flanco SO del anticlinorio Oliveza-Monesterio en Badajoz, dentro del distrito metalogénico de skarns del suroeste español, principalmente las minas "Colmenar", "La Berrona", "Santa Justa", "San Guillermo" y "Bilbaína", en la zona de Burguillos del Cerro y Jerez de los Caballeros, donde se explotaba una magnetita con unos volúmenes de reservas significativos (31 Mt en 1982, según Vázquez Guzmán). Estas minas eran tanto subterráneas como a cielo abierto, con una planta de concentración magnética a bocamina de las explotaciones. A finales de 1977, se produjo una parada temporal a causa de dificultades de



Acción de la S. A. de Minas de Cala. Col. y foto: B. Sáinz de Baranda.

mercado derivadas del alto contenido en álcalis que presentaba el mineral de estos yacimientos, circunstancia que más adelante volverá a plantearse. En todo caso, "Minera del Andévalo" constituía en los años 70 uno de los principales suministradores nacionales de mineral de hierro, sólo superado en ese momento por la "Compañía Andaluza de Minas", que explotaba el yacimiento del Marquesado, en Alquife (Granada) y por la "Compañía Minera de Sierra Menera", que explotaba las minas de Ojos Negros, en Teruel, por ese orden.

En 1975, las Minas de Cala produjeron 610.000 t de concentrado de hierro, y "El Colmenar" 132.192 t, a lo que hay que añadir 11.107 t de concentrado de cobre que adicionalmente se recuperaba en el proceso de

Cala y que ayudaba a compensar, en parte, la discreta calidad de la magnetita como mena de los hornos altos. Este concentrado se destinaba a la fundición de Riotinto en Huelva. En 1967, antes del inicio de la Acción Concertada que "Minera del Andévalo" presentó a la Administración, la producción de Cala y San Guillermo fue tan sólo de 180.000 t de mineral vendible (Minera del Andévalo, Informe Interno), lo que da una idea del impulso realizado durante esa etapa. Por otra parte, el aumento del costo de transporte, al dar salida al mineral a través del puerto de Huelva (que hacía necesario un transporte por carretera hasta Fregenal de la Sierra y un ferrocarril hasta Huelva), sólo agravó las cifras del coste operativo.

En las proximidades de Minas de Cala, se encuentra un yacimiento muy similar pero de menores dimensiones, que es la mina de Teuler. Se trata de otro skarn situado a 4 km al SE del yacimiento de Cala, enclavado en el flanco NE del Sinclinal de Herrerías. La masa de magnetita, acompañada por pequeñas cantidades de pirita y calcopirita, tenía unas reservas de 3 Mt a cielo abierto, y a finales de los 70 el mineral de Teuler era transportado en camión hasta el concentrador de Cala, juntándose a su producción (Vázquez Guzmán, 1983).

A finales de la década de los 70, se agudizó el problema existente con los álcalis contenidos en los concentrados de "Minera del Andévalo". El contenido en fósforo era fácilmente eliminado en el proceso de separación magnética, pero los álcalis (hasta un 3 %) permanecen a menos que se realice una molienda inferior a 0,1 mm (Vázquez Guzmán, 1983).





Zona de gossan cobrizo donde se han encontrado restos de galerías romanas. Corta "Mercedes", a Levante del yacimiento, en marzo de 1995. Foto: G. García.



Trabajos de perforación en la masa de granodiorita, para ampliación de la corta en 1995. Foto: G. García.



Magnífico cristal de calcopirita de 1,5 cm, en una geoda de dolomita (la muestra está atacada químicamente). El hematites es posterior, ya que crece sobre ella. Colección: J. Arincón. Foto: F. Piña.

Lamentablemente, una parte significativa de las reservas de la empresa estaban afectadas por dicho contenido de álcalis, provocando el rechazo de los clientes por su perjudicial efecto sobre el revestimiento de los hornos altos.

Desde 1971, "Minera del Andévalo" tenía firmado un contrato de suministro de mineral por cinco años con la empresa "Altos Hornos de Vizcaya, S.A.", para 150.000 t anuales de mineral de hierro a un precio cerrado, lo que le convertía en uno de los principales clientes de la compañía. La duración de este contrato había sido aumentado de 3 a 5 años de forma relativamente unilateral, para paliar una deuda anterior con A.H.V. que no pudo ser resuelta en efectivo, al encontrarse "Minera del Andévalo" en pleno desarrollo del Proyecto de Acción Concertada presentada ante la Administración. Los dos primeros años pudo cumplirse dicho contrato, pero en 1974 la empresa solicitó a A.H.V. una revisión del precio en un 34 %. Altos Hornos de Vizcaya, segunda empresa siderúrgica española, no aceptó el aumento, precipitando la crisis en "Minera del Andévalo". En cualquier caso, las siderúrgicas españolas ya comenzaban a apostar fuerte por el mineral importado, con un incremento de 978.826 t en 1969 hasta 5.115.752 t en 1973 (Minera del Andévalo, Informe Interno), más de un 500 % en sólo un quinquenio, y esto era una circunstancia de gran calado que sobrepasaba con mucho lo que le podía acontecer a "Minera del Andévalo". De hecho, en 1987 cerraron las minas de Ojos Negros, aún con reservas, y en





Cale con trabajos romanos en el gossan de Minas de Cala. Marzo de 1995. Foto: G. García.



Malaquita in situ, en el gossan de Corta "Mercedes". Foto: G. García.

*Los orígenes de Cala, sin duda antiguos, se suponen ligados a la actividad minera, bien a los filones auríferos de "La Sultana", o al gossan cobrizo de Minas de Cala.*

1998 las de Alquife, también con reservas. Interesa en este punto indicar que el contenido en álcalis del mineral de la "Compañía Andaluza de Minas" no era más favorable que el mineral de Cala, pero la ganga de carbonatos daba al mineral cierto carácter autofundente que era apreciado por los siderúrgicos. Resulta obvio que la siderurgia española no atendió razones de patriotismo sino de precio y de calidad, pese a los ocasionales comentarios gubernamentales sobre la "no dependencia de recursos importados". Como también era previsible, la compañía Enxidera, hasta su privatización, siguió adquiriendo mineral de las minas españolas, aún existiendo sin duda alternativas de mejor economía.

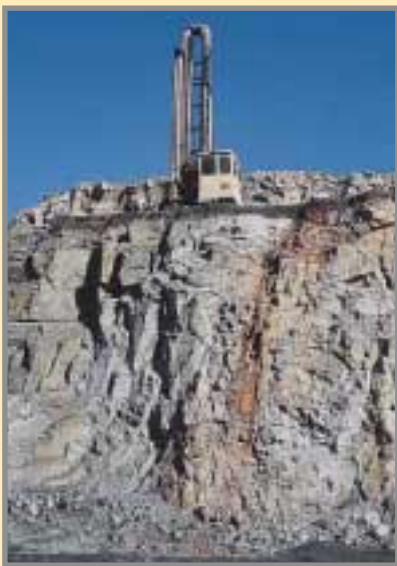
En el mismo Informe Interno de "Minera del Andévalo" en el que se trata de razonar la demanda de aumento de precio de venta del mineral, queda expuesto que A.H.V. estaba adquiriendo a "Orinoco Mining Company", de Venezuela, 150.000 t de mineral a un precio de 1.276,4 pesetas CIF Sagunto contra 1.059 pesetas FOB Huelva, a lo que hay que añadir 190 pesetas/t por el flete Huelva-Sagunto. El Informe no indica, sin embargo, aunque es un hecho cierto, que la calidad del mineral importado



Cristal de hematitas sobre dolomita. Encuadre: 12 mm. Colección: B. Sáinz de Baranda. Foto: F. Piña.



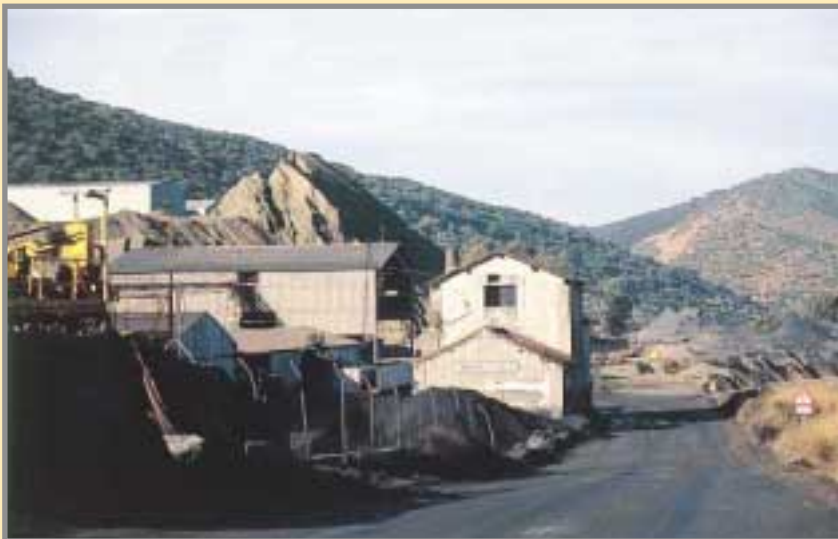
Cristales trapezoédricos de granate de Minas de Cala. Ejemplar de 7 cm. Colección: M. A. Amaya. Foto: J. M. Sanchis.



Perforadora Ingersoll Rand, sobre un banco de granodiorita. Foto: G. García, 12/2001.



Skarn granatífero, con múltiples geodas rellenas por calcita rosa. Foto: F. Tornos.



Molienda de la planta de flotación de cobre. Anualmente se producen en torno a 20.000 t de concentrado que se vendía a la Fundición de Riotinto, en Huelva. Foto: G. García, 11/98.

lamentablemente supera a la calidad del mineral de Cala y explotaciones anejas.

Aún en este marco tan desfavorable, “Minera del Andévalo” mantuvo su tenaz actividad extractiva, con producciones en torno a las 600.000 t hasta 1979, con un ratio de 8. Esta empresa cesa finalmente su actividad en 1982, dando paso a una situación de incertidumbre y planteando una grave crisis sociolaboral en la comarca. En 1981 se declara la suspensión de pagos y comienza el conflicto con 400 trabajadores en plantilla.

En 1981, se había creado la empresa PRESUR, S.A. (Prerreducidos Integrados del Suroeste de España). Su finalidad era la instalación de una planta de peletización en Fregenal de la Sierra y otra de prerreducidos en

Huelva, que contribuyera a la viabilidad del mineral de Cala y a la sustitución de la chatarra de importación.

De esta forma, la magnetita de Cala podría ser sometida a una molienda lo bastante fina como para separar los álcalis que le acompañan y posteriormente peletizar para hacer el producto apto para uso metalúrgico. Si no se peletizara el mineral tan finamente molido, no sería posible su aplicación en hornos altos, ya que la fina granulometría tupe la columna de reducción e impide la necesaria circulación de aire en el horno. Precisamente la peletización consiste en generar un producto granulado con la adición de un ligante generalmente de tipo arcilloso, lo que sería a grosso modo

*La “S.A. Minas de Cala” construyó un ferrocarril de 98 km que enlazaba las minas con Sevilla, donde también levantó un embarcadero sobre el río Guadalquivir.*

un aumento del tamaño de grano después de haber molido para separar los álcalis. El proyecto de la planta de pelets fue aprobado por el Gobierno en 1982. Sin embargo, el proyecto de prerreducidos de Huelva quedó pendiente en tanto no se concretaran las reservas de gas natural del Golfo de Cádiz, combustible que, en principio, se utilizaría en su fabricación; no obstante, se consideraba también la opción del carbón (Vázquez Guzmán, 1983).

Para suministrar la planta de peletización de Fregenal, se había previsto la producción en Minas de Cala de 1.400.000 t anuales de mineral todo-uno (33,7 % Fe y hasta 0,5 % Cu), que se traducirían en 630.000 t de concentrado de hierro (51,6 % Fe) y 10.000 t de concentrado de cobre (20 % Cu).

Por su parte, en el lavadero de “La Berrona” (Badajoz), se tratarían 1.600.000 t de todo-uno del 24,3 % Fe para obtener en torno a 700.000 t de concentrado de hierro del 60 % Fe.

Con ambos centros productivos, la planta peletizadora de Fregenal, logísticamente equidistante de ellos, podría producir 1.120.000 t anuales de pelets (67% Fe), que podían ser alimentación directa del horno alto o bien materia prima de la planta de prerreducidos que se proyectaba en Huelva.

Sin embargo, estos proyectos de peletización y prerreducción quedaron en papel mojado, y nunca se llevaron a la realidad.

Finalmente, en marzo de 1984, Presur toma posesión de Minas de Cala en evitación de un cierre seguro, y también en cumplimiento de una promesa electoral del partido vencedor de las elecciones generales de 1982. El propio candidato a la presidencia del Gobierno, Felipe González, participó en el encierro





**Cristales de millerita de 6 mm, en una geoda de dolomita (no se ha utilizado ácido). Colección y foto: Carlos M. Domínguez.**



**Las asociaciones paralelas de romboedros de calcita son unos ejemplares muy característicos de las geodas en los carbonatos cámbricos del talud Sur de las Minas de Cala. Ejemplar de 3 cm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.**

protagonizado por los trabajadores de las minas de Cala en los críticos momentos del cese de actividad. Desde el momento de la absorción, el I.N.I. (SEPI en la actualidad) absorbió cada año las abultadas pérdidas de una actividad que claramente había dejado de ser competitiva, ante el fracaso de los proyectos mineralúrgicos que en su día fueron planteados sin llegar a ser una realidad operativa y con Ensidesa como único cliente. Ante la privatización de esta última y la finalización del suministro a la acería asturiana, Presur, S.A. planteó una política de prejubilaciones y bajas incentivadas, consiguiendo sucesivas reducciones de plantilla pactadas con el Comité de Empresa. El ritmo de pérdidas anual estaba en torno a los 3.000 millones de pesetas, bajo un Contrato-Programa que annualmente firmaba Presur con el Ministerio de Hacienda, y al amparo del cual se realizaron inversiones en equipos mineros de importancia para los trabajos a cielo abierto, entre los que destaca la adquisición de dos excavadoras eléctricas de cables MARION y una flota de 16 dúmpers KOMATSU. El agotamiento de la vida útil de las excavadoras fue compensado con dos palas de ruedas CAT-992. Se trabajó en la mina a un ritmo de hasta 800.000 t/año, aunque siempre bajo la sombra de una operación en pérdidas. El concentrado de hierro era comprado por Ensidesa casi



**Cristales prismáticos de 1 cm de malaquita sobre matriz jaseroide. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.**

como único comprador, mientras que el concentrado de cobre iba a la fundición de Riotinto Minera (que pagaba la prima del contenido en oro y plata del concentrado). Desde finales de los 80, una parte de la producción se destinaba al mercado de los medios densos para flotar carbones, iniciado por la “Minero Siderúrgica de Ponferrada”, al que luego se sumarían otros clientes americanos y belgas.

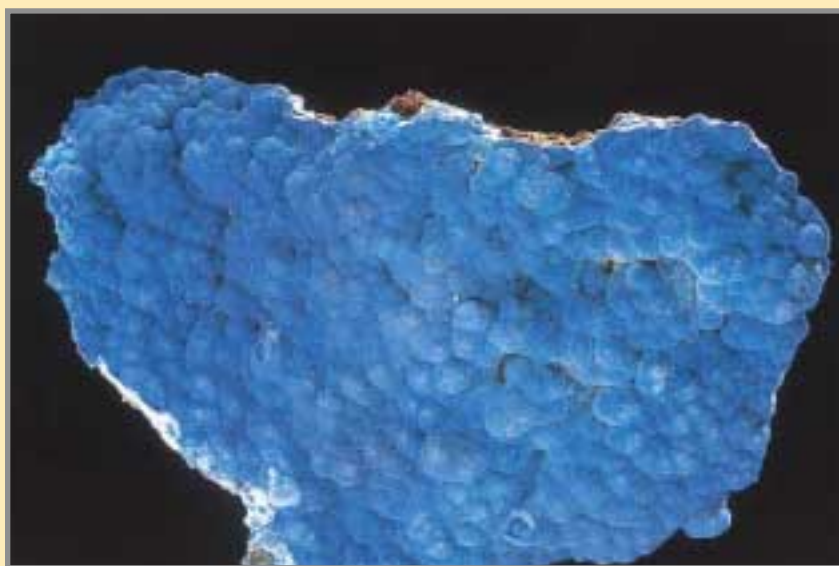
También por estas fechas, Presur se lanza a la construcción de una planta de plasma térmico en Fregenal, con la finalidad de tratar por pirólisis diversos residuos industriales. Esta instalación, importada de Estados Unidos

y que recibió el nombre de “Planta Aurora” (por el parecido de la luz de la aurora boreal con la atractiva luz del plasma), se puso en pie en un tiempo récord a base de fondos públicos, por esas premuras que frecuentemente experimentan los políticos que quieren hacer coincidir una inauguración con una determinada fecha señalada. Naturalmente, la Planta Aurora nunca ayudó a mejorar las lamentables cifras de Presur.

El descubrimiento a finales de los noventa del yacimiento de níquel-cobre-metales del grupo del platino de “Agua Blanca” (término de Monesterio, Badajoz, próximo al Real de la Jara, en Sevilla), propiedad de



Dúmper basculando a la entrada de la trituración primaria (hidrocono). Foto: G. García, 11/98.



Azurita globular. Ejemplar de 5 cm x 3 cm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.

Presur, representa un hecho muy destacable en la trayectoria de la empresa pública, casi tan destacable como el hecho de que enajenara su participación a terceros en un momento en que la cotización del níquel se mantenía al alza (hasta 8.000 \$/t en el año 2000). El yacimiento se encuentra en la reserva de "La Monaguera", de la que Presur era titular. Cuando se localizó la masa de níquel, Presur buscó un socio capi-

talista para llevar adelante la investigación y llegó a un acuerdo con "Rio Tinto Minera, S.A.", de forma que pasaron a ser copropietarios. El posterior desinterés de Atlantic Copper, sucesor de RTM, S.A. y la permanente necesidad de fondos de Presur, hizo del traspaso de la concesión casi un hecho natural. La estimación de recursos realizada por estas empresas puso de manifiesto 18,5 Mt de mineral con 0,67 % Ni, 0,49 %



Marreros en desazfre y carga manual de vagones. Foto: Cortesía de Presur.

Cu y 0,61 g/t de metales del grupo del platino (PGM). De hecho, la explotación a cielo abierto del yacimiento se encuentra en fase de desarrollo este año 2003, por el nuevo y conocido titular, "Río Narcea Gold Mines, S.A.".

Entre tanto, Presur parece haber diversificado su actividad, y a los eventuales pedidos de magnetita se incorpora una producción de áridos calizos y de granodiorita que abastece las necesidades del mercado local de obra pública.

## MINERALOGÍA

Los minerales presentes en el yacimiento de Minas de Cala son, como ya se ha indicado, los correspondientes a



*Desde 1984, el INI absorbió cada año las abultadas pérdidas de una actividad que claramente había dejado de ser competitiva.*

un yacimiento de tipo skarn, con los minerales secundarios de cobre producidos por la alteración de la calcopirita en la zona más superficial, y además un conjunto de minerales de cobalto y níquel, que aparecen englobados en una matriz carbonatada, anecdóticos a nivel del yacimiento y sin importancia económica, pero con gran interés científico y coleccionístico. En los siguientes apartados se describirán los minerales más importantes de cada uno de estos grupos, sin detallar aquellos que aparecen de manera general como “formadores de las rocas”.

## GRANATE

$Ca_3Al_2O_7$

El skarn de Minas de Cala es un yacimiento típico para el granate, donde constituye masas de gran importancia. Existen miles de toneladas de granatita compuesta por un intermedio de la serie grosularia – andradita. La granatita puede presentarse o bien compacta y homogénea, o bien como un agregado de cristales de granate, quebradizo y relativamente deleznable, en el que se aprecia el contorno de los cristales y los zonados internos.

En este yacimiento existen tres tipos de granate, que fueron caracterizados por Velasco et al. (1981):

- *Granates de tamaño milimétrico*, de composición intermedia entre grosularia y andradita, asociados a clinopiroxeno y formados en la primera etapa de la mineralización.

- *Granate con predominio de la andradita* en su composición, formando la masa de la granatita, de un tamaño del orden del medio centímetro, o mayores, idiomorfos o hipidiomorfos, zonados y generalmente con inclusiones de ortopiroxeno.

- *Granates idiomorfos*, de un tamaño de hasta 5 cm de diámetro, cuya composición los define como andraditas aluminicas.



Cristal de calcopirita con agregados esféricos de hematitas y dolomita. La iridación intensa de estos ejemplares está producida por un ataque químico con lejía. Tamaño: 5 mm. Colección: J. Arincón. Foto: F. Piña

En la zona mineralizada existe una amplia banda de color oscuro integrada por granate masivo, con frecuentísimas cavidades rellenas por calcita rosa y otros minerales que acompañan al granate. En estas cavidades los cristales de granate están más o menos bien desarrollados, pero nunca llegan a aparecer aislados, y es raro que su desarrollo libre alcance más del 50%. Los cristales están formados por la combinación de trapezoedro y dodecaedro. En los cristales más pequeños predomina la primera de estas figuras, que a veces es la única presente, mientras que en los cristales más grandes se encuentra generalmente una combinación de los dos, con un desarrollo semejante. En la mayoría de los cristales, las caras de trapezoedro tienen finas estrías paralelas mientras que las de dodecaedro tienen una textura superficial en mosaico, orientado paralelamente a las aristas formadas por las caras de trapezoedro y dodecaedro.

La eliminación con ácido de la calcita que rellena las geodas permite dejar al descubierto los cristales de granate y de los otros minerales. El problema de utilizar este método es que la mayor parte de los cristales de granate tienen múltiples inclusiones de calcita, que también

desaparecen por el tratamiento por ácido, dejando la superficie con aspecto irregular, a veces casi esponjoso. Cuando la calcita rellena fisuras en los cristales de granate, su disolución da lugar a la fragmentación del cristal. Para obtener ejemplares en los que resalte el granate, es preferible una cuidadosa eliminación mecánica parcial de la calcita, mucho más trabajosa que la eliminación con ácido, pero con mejores resultados. Para observar los otros minerales presentes en las geodas de granate, el tratamiento con ácido es imprescindible.

En los bancos de la corta donde la granatita está seccionada, es fácil encontrar muestras en las que la roca, que muestra cierta estratificación, ha roto por sus juntas naturales, quedando expuestas superficies cristalinicas más o menos amplias, intensamente cubiertas por caras de cristales de granate de buena calidad, brillantes y de aristas vivas, aunque los cristales están poco desarrollados tridimensionalmente y no resaltan de la matriz.

Calderón (1910) no cita los cristales de granate de Minas de Cala, seguramente porque los trabajos de interior siguiendo la magnetita no llegaron a cortar en su época el banco en que aparecen.



Cinta de salida a acopio de mineral 0 mm - 30 mm. Foto: G. García, 11/1998.



Malaquita capilar sobre goethita. Tamaño del encuadre: 25 mm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.

### PIROXENOS Y ANFÍBOLES

Como es de esperar, los minerales de estas familias son muy abundantes formando parte del skarn. Inicialmente se formaron los piroxenos, de la serie diópsido-hedenbergita, que en una alteración de baja temperatura fueron reemplazados en gran parte por anfíboles (Rodas y Luque, 2001). El anfíbol dominante es, según Rodas y Luque (2001) la ferropargasita, aunque Cóllica (1991), basándose en datos suministrados por la empresa explotadora, lo clasifica como hastingsita. Los ejemplares más notables de este mineral son los que se encuentran en las geodas de la granatita, acompañados de cristales de granate, formando haces de cristales aciculares o prismáticos más o menos curvados, de hasta 10 cm de longitud, de color verde muy oscuro, casi negro.

### HEMATITES



La hematites aparece en Cala al menos con cuatro aspectos diferentes. El primero de ellos, el único de





Plano inclinado de acceso a la masa de magnetita, de la etapa de explotación subterránea del yacimiento. Foto: G. García, 12/2001.



La crisocola es un mineral muy frecuente en la zona de gossan del yacimiento. Foto: G. García, 11/1998.

cierta importancia industrial pero no particularmente interesante a efectos de colección, son las grandes masas, de varios metros cúbicos, que se explotaron en la zona de corneanas (Cólliga, 1991). Se trata de masas compactas de hematites laminar brillante, muy fácilmente deleznable, que al tocarlas dejan los dedos impregnados por una infinidad de pequeñas láminas plateadas con reflexiones internas rojizas. En estas masas aparece también algo de piritita. La segunda forma en la que se encuentra la hematites es como las típicas masas reniformes de color gris rojizo, centimétricas y de estructura fibrosorradiada y laminar concéntrica.

En tercer lugar aparece hematites en las geodas de la granatita, formando “rosas de hierro” de cristales irregulares pero de evidente contorno hexagonal, de hasta 1 cm. Aparecen muy fracturadas y con los contornos corroídos, siendo además necesario la disolución con un ácido de la calcita para poder observarlas. Por último, en las geodas de la dolomita que rellena las fisuras de algunos cuerpos de magnetita, se observa hematites cristalizada, tanto en grupos esféricos como en láminas aisladas sobre la dolomita. Los cristales son muy pequeños y para apreciar bien sus formas es preciso estudiarlos bajo lupa, pero la belleza y perfección de estas muestras supera a todas las anteriores. De forma ocasional alcanzan tamaños no tan reducidos, habiendo sido halladas algunas rosas de hierro de contorno circular superiores al centímetro, brillantes y perfectamente perfiladas.



Cristal de skutterudita destacado sobre la dolomita (sin ataque ácido). Tamaño: 5 mm. Colección: J. Peña. Foto: F. Piña.



Tremolita. Ejemplar de 7 cm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.





Cristal cúbico estriado de pirita de 1,5 cm de arista, con truncamientos (111). Colección: G. García. Foto: F. Piña.

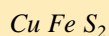


Cristales de calcita en cabeza de clavo, de 2 cm. Colección: A. Muñoz Leiva. Foto: F. Piña.



Masa reniforme de hematites, de 5 cm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.

## CALCOPIRITA



En Minas de Cala la calcopirita no es muy abundante, pero sí lo suficiente para que su recuperación tenga gran interés económico. De hecho, como ya se ha indicado, esta mina se demarcó y estuvo en explotación en el siglo XIX por parte de la "Compañía Portuguesa de las Minas de Cala" para explotar los minerales de cobre (Ingunza, 1886). La calcopirita se encuentra en la magnetita masiva como pequeños granos aislados, rellenando fracturas en los granos de magnetita o intersticios entre ellos, como bandeados paralelos o como rosetones de diversos ta-

maños (Doetsch y Romero, 1973). La calcopirita y la pirita son más abundantes en las zonas de magnetita próximas a zonas de clorita en el aposkarn, en fracturas y en venas de origen hidrotermal (Velasco y Amigó, 1981). Aunque no se aprecian inclusiones de oro metálico, la calcopirita de esta mina contiene hasta 10 gramos de oro por tonelada (Doetsch y Romero, 1973).

Los ejemplares de calcopirita más notables son los que aparecen en las fracturas de la magnetita rellenas de dolomita. En una proporción significativa de fracturas, el relleno de carbonato no es total, y pueden encontrarse geodas recubiertas de cristales romboédricos de dolomita blanca-beige sobre los que parecen con cierta

frecuencia cristales de calcopirita de hasta 2 cm de arista, producidos por la removilización de este mineral. Los cristales de calcopirita son de hábito biesfenoédrico, aparecen generalmente maclados y están intensamente estriados y escalonados. En algunos casos tienen las caras y aristas redondeadas, probablemente por efecto de procesos de disolución posterior a su formación, apareciendo entonces fuertemente irisados pero poco brillantes (Calvo, 2003). También se encuentran cristales con aristas vivas y brillo metálico. En estas geodas aparecen también, junto con la calcopirita, pequeños cristales de hematites y de goethita.

En una desafortunada operación de "maquillaje", se han tratado con lejía lotes de ejemplares con cristales de calcopirita para producirles artificialmente vistosas irisaciones superficiales. Esta destructiva y poco ética manipulación produce pátinas de aspecto totalmente distinto a las de los cristales irisados de forma natural en este yacimiento.

## MAGNETITA



Siendo este el mineral principal explotado tradicionalmente en Cala, no destaca sin embargo por la frecuencia con la que aparecen ejemplares cristalizados, ni por el tamaño y calidad de los cristales, cuando éstos se encuentran. Los cuerpos mineralizados, a modo de amplias vetas de mineral masivo de hasta 4 metros de

ancho, no contienen por lo general grietas ni geodas con desarrollo de magnetita cristalizada. Eventualmente se han podido recuperar en algunas fisuras placas con pequeños cristales, singulares por su desigual desarrollo de las caras del octaedro, configurando grupos tabulares de contorno dentado, acompañados de cristales romboédricos de carbonato corroído, no muy vistosos.

Los cristales de magnetita más característicos de este yacimiento aparecen, en forma de cristales octaédricos bastante perfectos en las geodas de la granatita, junto a cristales de granate, epidota, titanita, cuarzo, unidos a ellos, de forma individual o como grupos de unos cuantos individuos, o bien como grupos flotantes de diminutos conjuntos octaédricos inmersos en la calcita rosa que rellena las geodas. Se han observado ocasionalmente cristales de tamaños próximos al centímetro, aunque lo más normal es que tengan sólo algunos milímetros.

Alguna muestra antigua, de difícil ubicación en un yacimiento tan grande como Minas de Cala, no tiene nada que ver con el aspecto de la magnetita que contiene la granatita ni con la que se acaba de describir, y se compone de cristales octaédricos de hasta 1 centímetro de arista, con muchos recrecimientos en sus facetas y formando una piña en la que solo se identifica cuarzo como mineral acompañante.

## MALAQUITA



La malaquita es un mineral muy abundante en los niveles superiores de la zona sur del yacimiento, donde se ha desarrollado un gossan cobrizo de importancia que contiene, entre otras, la especie que nos ocupa. Este gossan consiste en un esqueleto silíceo relleno de óxidos de hierro y carbonatos y silicatos de cobre. Las masas de limonita, terrosas y deleznales, contienen muchas cavidades que con frecuencia aparecen ocupadas por bellos tapices de cristales aciculares de malaquita, de varios milímetros de longitud. El problema de estas muestras reside en la fragilidad de la matriz, que se fragmenta con enorme facilidad. En la zona de cementación, caracterizada por la presencia de sulfuros secundarios de



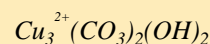
Excursión de aficionados a la Mineralogía a las Minas de Cala. Foto: G. García, 11/98.



Cristales estriados de granate. Tamaño del encuadre: 10 mm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.

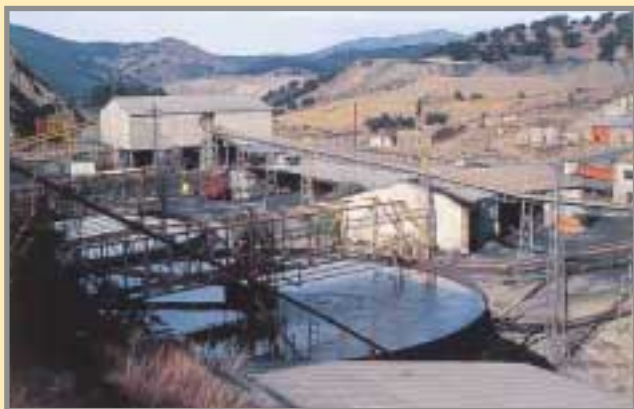
cobre y relictos de calcopirita, también se encuentra malaquita en las fisuras y geodas. Al ser matrices más compactas y masivas, también tiene mayor resistencia mecánica, y las cristalizaciones de malaquita son más firmes. De forma ocasional, se han obtenido cristales de casi 1 cm de longitud, de hábito prismático, no aciculares y con un desarrollo claro de las formas del sistema monoclinico, en un gossan que contiene calcopirita, baritina y cuprita. También se han observado masas aterciope-ladas y pequeños glóbulos con estructuras concéntricas.

## AZURITA



Aparece en el mismo entorno que la malaquita, y a veces la acompaña. Se ha observado tanto formando costras y recubrimientos globulares, a veces muy vistosos, como bien cristalizada, pudiendo alcanzar los cristales ocasionalmente un tamaño de varios milímetros. Los glóbulos de azurita, de pequeño tamaño, muestran bajo la lupa una estructura interna con capas concéntricas de distintos tonos de azul, a veces con





Tanques clarificadores en la planta de cobre "CUCALA". Foto: G. García.



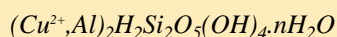
Cuboctaedro de skutterudita de 2 cm. Colección y foto: Carlos M. Domínguez.



Entrada y salida de cintas de trituración primaria a terciaria. Foto: G. García, 11/98.

espacios libres entre ellas, parecido al típico bandeado de la malaquita. Algunos de estos glóbulos tienen sus capas más internas formadas por este mineral. Más destacables son quizá los cristales de dominancia romboédrica que se han recogido en un gossan limonítico de los niveles superiores. Se trata de cristales de caras lisas y brillantes, por cuyas aristas se percibe con nitidez el bello color azul de la azurita. Algunos ejemplares muestran signos evidentes de alteración superficial a malaquita.

## CRISOCOLA



La crisocola es bastante abundante en el gossan limonítico de la zona de levante del yacimiento, junto con malaquita. Aparece rellenando fisuras y tapizando sus superficies, como formas globulares y como costras botroidales zonadas. Son especialmente destacables las pseudomorfosis de crisocola sustituyendo total o parcialmente a cristales de malaquita.

## SKUTTERUDITA



Los mejores ejemplares españoles modernos de skutterudita aparecieron a finales de noviembre de 1999 en la mina de magnetita de Minas de Cala (Calvo, 2000), en un filón carbonatado de unos 50 cm de potencia en la cota 608-620 de la zona Levante de la corta, en la proximidad de un banco de magnetita con mucho cuarzo. El filón quedó expuesto en toda la altura del banco y proporcionó centenares de ejemplares, aunque en el otoño de 2002 el lugar podía considerarse exhausto. Estos cristales, formados por la combinación de cubo y octaedro con un desarrollo semejante, con las superficies lisas o a veces algo irregulares, pero siempre brillantes, pueden superar el centímetro, y se encuentran atrapados dentro de una masa de dolomita granuda con bastante sílice. También aparecen ejemplares formados por el crecimiento de cubos de forma subparalela, con aspecto hojoso y el centro de las caras deprimido. Estos cristales, con los que

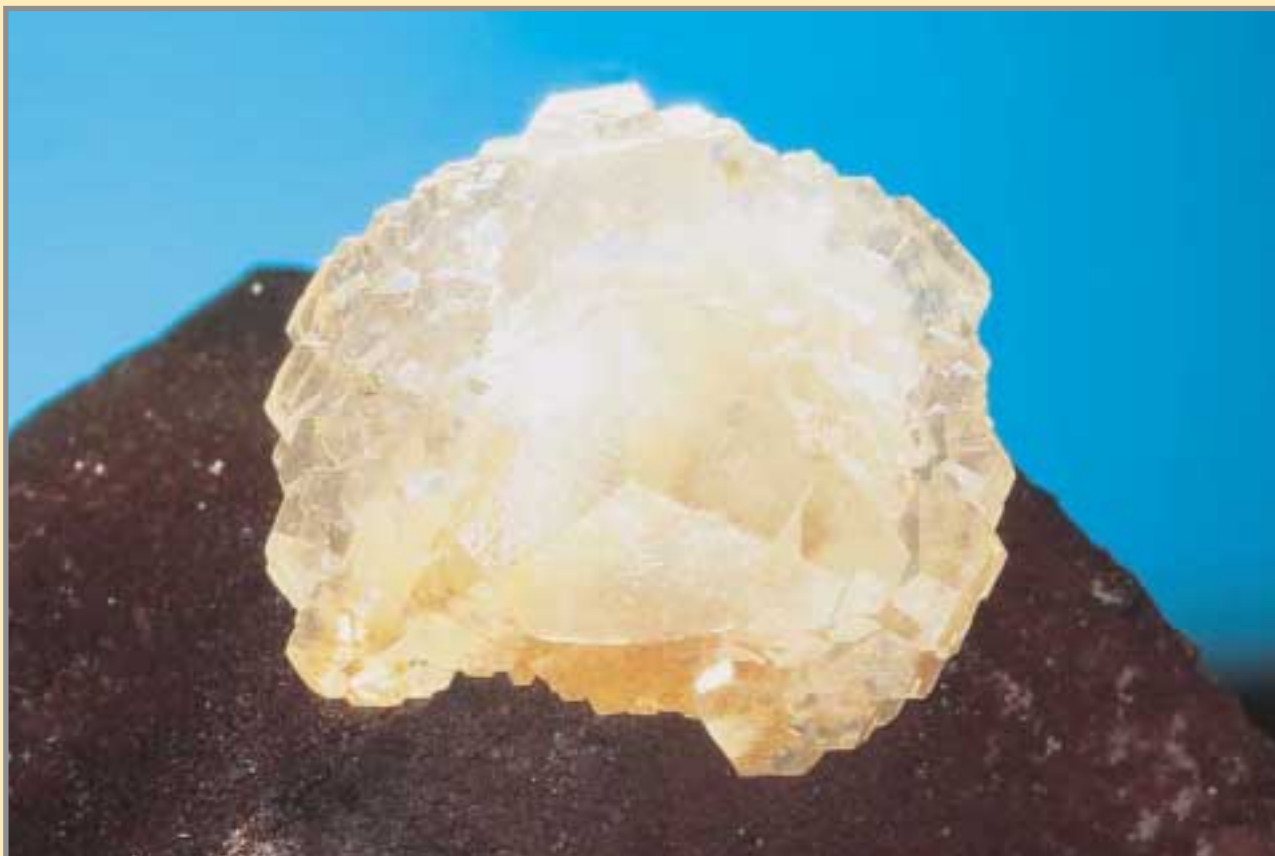
también se observan diminutas caras de octaedro, tienen un tamaño mucho más pequeño que los anteriores. En este filón, la skutterudita está acompañada localmente de glaucodot, niquelina, gersdorffita y, muy raramente, de millerita (Calvo, 2003).

En algunos cristales de skutterudita de este yacimiento aparecen zonas interiores ricas en níquel, que en algún caso corresponden a la especie niquelskutterudita. Esto solamente puede establecerse con seguridad mediante análisis puntuales con microsonda o EDS de zonas concretas en el interior de cristales rotos. La zona exterior de todos los cristales es skutterudita, por lo que la denominación de "niquelskutterudita" con la que se han comercializado ocasionalmente ejemplares en ferias de minerales debe considerarse incorrecta.

## NIQUELINA



Aunque se trató de un hallazgo puntual, los ejemplares de niquelina obtenidos a finales de 1999 en las



Cristal lenticular de calcita, de 1 cm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Cristales de goethita de 1 cm con hematites, sobre dolomita. Colección: J. Arincón. Foto: F. Piña.



Minas de Cala pueden considerarse entre los mejores de España para esta especie. La niquelina aparece como pequeñas masas, y ocasionalmente como cristales hexagonales más o menos toscos que pueden alcanzar un tamaño individual de varios milímetros. Generalmente, tanto las masas como los cristales se encuentran recubiertos de microcristales de gersdorffita (Calvo, 2003).

## MILLERITA

$NiS$

La millerita se encuentra, con poca frecuencia, acompañando a la niquelina en el indicio de minerales de cobalto y níquel aparecido en 1999, como agujas de hasta 4 mm de longitud formando agrupaciones divergentes bastante espesas, dentro de la calcita. En la mayoría de los ejemplares en los que este mineral es visible, la calcita se ha eliminado por tratamiento con ácido. También se encuentra, aunque solamente en algunos ejemplares, como haces de cristales aciculares creciendo libremente en pequeñas geodas del carbonato.

## GERSDORFFITA

$NiAsS$

En la mina de magnetita de Minas de Cala, la gersdorffita aparece recubriendo a la niquelina, como costras de un espesor próximo al milímetro, tapizadas exteriormente de cristales bastante toscos de un tamaño de solamente algunas micras (Calvo, 2003).

## GLAUCODOT

$(Co,Fe)AsS$

Se ha encontrado glaucodot en la paragénesis de minerales de cobalto y níquel de la mina de Minas de Cala, como un tapiz de diminutos cristales asociados de forma subparalela para formar agrupaciones laminares que a su vez se disponen de forma divergente sobre formaciones arborescentes o botroidales de niquelina o de otros minerales. Estos tapices alcanzan tamaños centimétricos. Asociados con el glaucodot aparecen pequeños cristales de skutterudita (Calvo, 2003). El glaucodot es un mineral relativamente raro, que solamente se conocía en Es-



Cristales de epidota de 2 cm, con cuarzo. Colección: M. A. Amaya. Foto: J. M. Sanchis.



Cristal romboédrico de azurita con malaquitización incipiente. Encuadre de 2 cm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.



Cristal biterminado de cuarzo ahumado sobre dolomita, y calcita posterior. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Excelente cristal lenticular de calcita semitransparente sobre dolomita rojiza. Tamaño: 3 cm. Colección: J. J. García Sáez. Foto: F. Piña.

pañá en unos cuantos yacimientos, en todos ellos visible solamente por microscopía de luz reflejada. Los cristales de glaucodot de Minas de Cala son demasiado pequeños para que se pueda distinguir claramente su morfología con la lupa binocular, pero aún así forman los únicos ejemplares dignos de ese nombre encontrados hasta el momento en nuestro país.

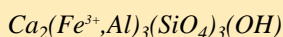
## GOETHITA



De forma accidental, aparece goethita como cristales prismáticos aplanados y lanceolados de hasta 15 mm, traslúcidos en los bordes, en las geodas del carbonato que rellena las fisuras de la magnetita. Está acompañada de grupos esféricos muy pequeños de cristales laminares de hematites. Los cristales de goethita son casi coincidentes en aspecto, tamaño, matriz y asociación con hematites a los del yacimiento de Tordelrábano (Guadalupe). A veces forman esprayes planos y presentan microcristales de calcita incolora. La goethita, en este caso sin

mayor interés, forma también parte de los minerales de la zona de alteración de los sulfuros.

## EPIDOTA



La epidota es muy común en las geodas de la granatita, o como cristales aislados dentro de la calcita anaranjada. Aunque lo normal son cristales entre 1 y 3 centímetros, Cóllica (1991) indica la presencia de ejemplares con cristales de hasta 15 cm. Estos cristales, que suelen aparecer como individuos aislados, son de un color verde generalmente no muy oscuro y cuando se elimina la calcita aparecen por lo general poco brillantes, fracturados, afectados por grandes corrosiones, picaduras y abundantes imperfecciones.

En algunas fracturas del skarn aparecen también cristales de epidota, en este caso como drusas de cristales creciendo libremente, sin relleno de calcita. Estos cristales son de color oscuro, casi negro, con las caras cristalinas muy bien definidas, de aspecto

tabular y de morfología relativamente compleja. No están acompañados por cristales de ningún otro mineral. Los cristales individuales de este tipo suelen tener tamaños algo menores de 1 cm, aunque también se han encontrado algo mayores.

## TITANITA



La titanita es un mineral frecuente y fácil de observar en las cavidades de la granatita, una vez se ha eliminado la calcita. Aparece en cristales o grupos de cristales laminares o lenticulares, no bien definidos, de color amarillento o marrón claro, brillantes pero opacos. Generalmente están muy fisurados, y son por lo tanto muy frágiles, especialmente al eliminar la calcita que rellena las fisuras, por lo que es muy difícil obtener ejemplares sin daños evidentes. Las agrupaciones pueden alcanzar tamaños en torno a 1 centímetro, aunque los cristales más abundantes suelen ser milimétricos. Están asociados a la epidota, granate y magnetita, principalmente.



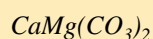


Crisocola nodular sobre goethita. Encuadre de 20 mm. Colección: A. Muñoz Leiva. Foto: F. Piña



Cristales dodecaédricos de pirita con cuarzo. Encuadre de 25 mm. Colección: M. A. Amaya. Foto: F. Piña.

## DOLOMITA



La dolomita parece ser poco abundante a escala de yacimiento, pero se observa con frecuencia como relleno de las fracturas de la zona mineralizada y como recubrimiento de las calizas de la zona sur. Ocasionalmente aparecen geodas con agregados de cristales romboédricos curvados, cris-

tales que son de color blanco, beige o rosa, limpios y brillantes o ligeramente alterados y recubiertos por páti- nas pardas, ocre o rojizas de óxidos de hierro.

## TREMOLITA



Con aspecto asbestiforme, aparece tremolita en grietas de la roca,

como masas formadas por fibras paralelas que pueden alcanzar hasta los 10 cm de longitud (Doetsch et al. 1971). Modernamente se han encontrado en distintos lugares masas del mismo aspecto, con una longitud de fibra de hasta 6 cm, identificadas como “crisotilo” (Cólliga, 1991), que probablemente corresponden al mismo mineral, aunque no han sido analizadas.



## PIRITA



En la mina de magnetita de Minas de Cala la pirita es un mineral muy común. A unos 400 metros de profundidad, muy por debajo de la zona explotada, existe una zona con capas de pirita masiva de hasta 1 metro de espesor (Doetsch y Romero, 1973). Aparece dentro de la magnetita como cristales de hasta 3 cm, como nódulos de hasta 5 cm o dispersa entre los granos. Los cristales tienen caras de cubo (generalmente estriadas), con modificaciones de piritoedro o de octaedro. En este último caso, se ha observado la presencia de estrías paralelas a las aristas que forman figuras triangulares (Doetsch y Romero, 1973).

## CALCITA



La calcita es un mineral muy abundante en Cala. En forma de masas cristalinas de un característico color naranja, aparece rellenado fracturas y geodas en la granatita, englobando a todos los demás minerales cristalizados. El color naranja, que suele ser bastante intenso, se debe probablemente a las inclusiones de óxido férrico.

En forma de cristales se encuentra también con bastante frecuencia, pero no en la mineralización principal, sino en las fisuras y geodas de las calizas cábricas no afectadas por la mineralización, situadas en el talud Sur. Son muy característicos los crecimientos apilados de romboedros compartiendo el eje c, formando "botones" que crecen aislados (Cóllica, 1991). Las aristas de estos cristales suelen estar muy escalonadas, aunque las tres caras visibles del cristal superior suelen ser bastante lisas y brillantes. En 1991 fue encontrada una geoda de importantes dimensiones, interiormente recubierta por un tapiz de cristales de dolomita de color rosado muy vivo sobre el que aparecían aislados los grupos de romboedros ya descritos. El hueco proporcionó muchos ejemplares para colección. En los alrededores de esta geoda se encontraron otras parecidas, con cristales semejantes de calcita pero con la dolomita mucho menos vistosa.

También son relativamente frecuentes los cristales en los que do-



Cristales de epidota sobre titanita con magnetita. Los ejemplares tratados con ácido se vuelven quebradizos y débiles a causa de la eliminación de la calcita fisural. Encuadre: 15 mm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.



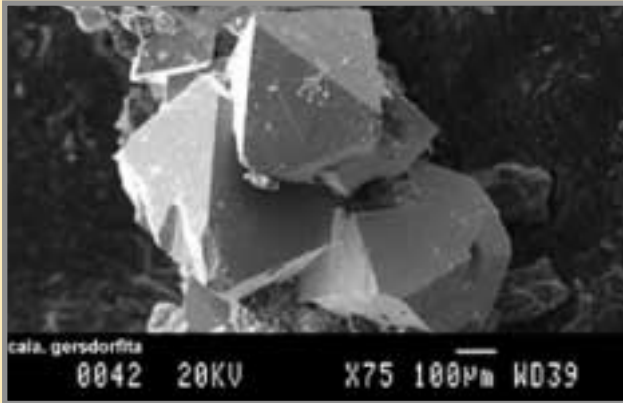
Cristales escalenoédricos de calcita con fantasmas silueteados por hematites. Tamaño: 5 cm. Colección: M. A. Amaya. Foto: J. M. Sanchis.



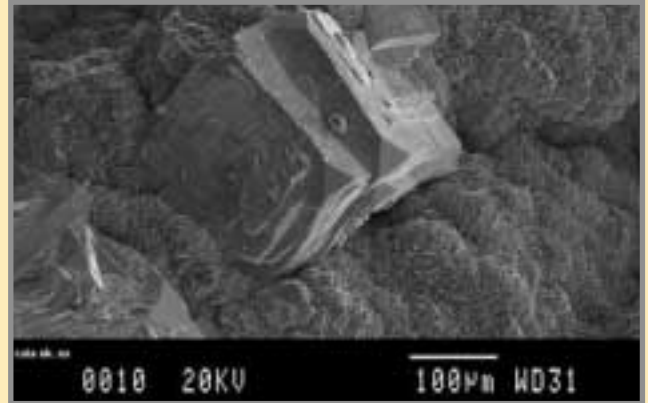
Niquelina arborescente (véase típico color bronce en el interior de las fracturas). Ejemplar de 4 cm. Colección: B. Sáinz de Baranda. Foto: F. Piña.



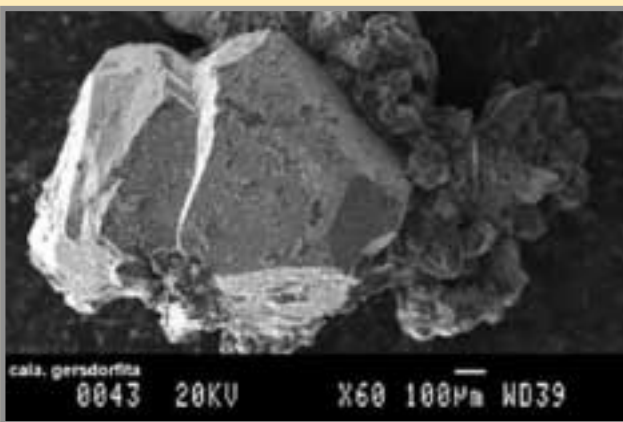
## MINAS DE CALA



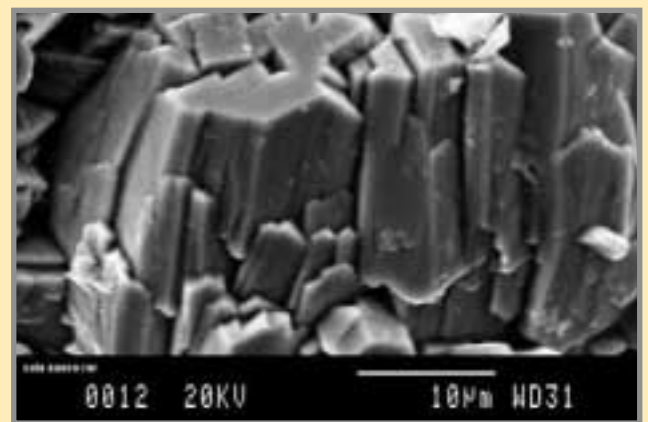
Cristales octaédricos de gersdorffita, un sulfoarseniuro de níquel. Foto: J. Viñals.



Cristal de skutterudita sobre glaucodot. Foto: J. Viñals.



Cristales cubo-octaédricos de gersdorffita. Foto: J. Viñals.



Cristales ortorrómbicos de glaucodot, una sulfosal de cobalto y hierro. Foto: J. Viñals.



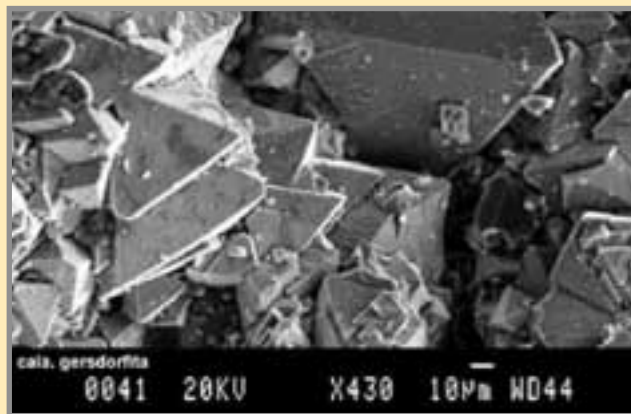
Cristal de calcopirita (irisación artificial) de 12 mm, sobre dolomita con hematitas. Colección: J. Arincón. Foto: F. Piña.



Crecimiento esquelético de skutterudita sobre niquelina. Tamaño: 15 mm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Cristales corroídos de magnetita sobre cuarzo. Encuadre: 3 cm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Octaedros de gersdorffita. Foto: J. Viñals.



Cristal irisado de calcopirita (natural) sobre calcita con inclusiones de hematitas. Encuadre: 15 mm. Colección: M. de Torres. Foto: F. Piña.



Oro nativo con bismutina sobre cuarzo. Procede de la mina "Sultana-San Rafael", en las proximidades de Cala pero sin relación genética con el skarn. Encuadre: 25 mm. Colección: M. A. Amaya. Foto: F. Piña.

mina el escalenoedro, más o menos transparentes y de varios centímetros de longitud. Aunque lo normal es que presenten cierta turbidez, es muy común la presencia de zonados internos claramente perfilados por la presencia de inclusiones de hematitas, de color plateado o rojizo según el grosor de los microcristales que lo componen.

También aparece calcita en algunos filones secundarios que atraviesan la granodiorita y algunas zonas mineralizadas, en forma de cristales amarillentos transparentes, con formas complejas, asociada a cristales deformes de pirita (Cólliga, 1991).

## CUARZO



El cuarzo es bastante abundante en Minas de Cala, apareciendo como cristales de hasta 2 cm, traslúcidos, a veces ahumados y de caras toscas, dentro de las geodas de la granatita. También son notables

algunos ejemplares de jaspe, con bandeados de color rojizo o verdoso, que les haría susceptibles de un eventual uso como piedra ornamental, aunque con el inconveniente de que los tonos son generalmente apagados.

## ARSENOPIRITA



La arsenopirita ha aparecido ocasionalmente en este yacimiento en forma masiva o como cristales que pueden alcanzar un tamaño de hasta 2 cm, aislados o formando grupos, englobados dentro de calcita cristalina, y acompañados de pequeños cristales de cuarzo y de un silicato del tipo de la actinolita. Los cristales más grandes de arsenopirita son generalmente sencillos y de un hábito muy plano, formados por la combinación de grandes caras fuertemente estriadas de {012} con pequeñas caras con textura escalonada de {110} (Calvo, 2003). Los cristales

de tamaño más pequeño, de algunos milímetros, pueden ser de este mismo hábito aplanado, o con un desarrollo prismático.

## OTROS MINERALES

Se ha citado la presencia en este yacimiento de marcasita y pirrotina (Velasco y Amigó, 1981). También se considera posible que aparezca cubanita como inclusiones en la calcopirita, pero exclusivamente en aquella que ha sido modificada por la acción de una roca ígnea ácida, no en la existente en la zona principal del yacimiento (Doetsch y Romero, 1973). También se ha citado la presencia, en raras ocasiones y solamente a escala microscópica, de molibdenita asociada a la pirita (Doetsch y Romero, 1973). También ha aparecido de forma anecdótica galena rellenando fracturas en la corneana (Cólliga, 1991).

Entre los minerales de alteración de la calcopirita, aparecen pequeñas





Cristal tabular cuboctaédrico de skutterudita, de 5 mm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Cristales de goethita con pequeñas calcitas. Colección y foto: Carlos M. Domínguez.



Cristales hexagonales de niquelina, una rareza en la mineralogía española. Colección y foto: Carlos M. Domínguez.

cantidades de calcosina y de covellina (Doetsch y Romero, 1973). Otros minerales de cobre que se han encontrado de forma ocasional y en ejemplares sin especial relevancia son el cobre nativo, cuprita, calcantita y auricalcita (Cólliga, 1991). Junto con la malaquita aparece a veces aragonito como pequeñas formaciones globulares o agrupaciones radiadas de cristales diminutos (Cólliga, 1991).

Se ha encontrado muy ocasionalmente fluorita como pequeños cristales cúbicos de color violeta azulado muy débil, en una zona de fractura de las calizas (Cólliga, 1991) y posible escapolita.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración en este trabajo de Antonio Arribas, Fernando Palero, Fernando Torinos, Borja Sáinz de Baranda, Juan Cabezas, Carlos Manuel Domínguez, Miguel Ángel Amaya, Juan Peña y del antiguo Director Alfonso Gordillo, y también Juan José Herrera, Lola Rosado y César Menor.

Los minerales de cobalto y níquel del filón de 1999 han sido identificados por SEM-EDS y por DRX por Juan Viñals, de la Universidad de Barcelona, a partir de ejemplares cedidos desinteresadamente por Carlos Utrera, de Málaga.

## BIBLIOGRAFÍA

Calvo, M. (2000): 10 años de mineralogía española. *Revista de Minerales*, 2, 34-48.

Calvo, M. (2003): *Minerales y Minas de España. Volumen II*. Museo de Ciencias Naturales de Álava.

Cólliga, L. A. (1991): Minas de Cala. *Azogue* (4), 21-37.

Doetsch, J. y Romero, J. J. (1973): Contribución al estudio de menas magnéticas del suroeste de España.

Minas de Cala (Huelva). *Boletín Geológico y Minero*, 84, 236-253. Doetsch, J., Rivas, G., Morrondo, M.S., Alpanseque, B., Rivoir, L. y Cueto, A. (1971): Estudio de tremolitas complejas procedentes del suroeste de España. *Boletín Geológico y Minero*, 82, 520-533.

Rodas, M. y Luque, F. J. (2001): *Minerales Industriales del Suroeste Español. Guía de Excursiones*. Departamento de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad Complutense de Madrid.

Vázquez Guzmán, F. (1968): Contribución al estudio de los yacimientos de hierro del Suroeste de España. *Boletín Geológico Minero* v. 89, p. 358-379 y 498-512.

Vázquez Guzmán, F. (1983): Depósitos minerales de España. IGME, pp 78-81.

Velasco, F. y Amigo, J. M. (1981): Mineralogy and origins of the skarn from Cala (Huelva, Spain). *Scientific Communications*, 719-727.

Velasco, F., Amigó, J. M. y Fontán, F. (1981): Granates birrefringentes del skarn con magnetita de Cala, Huelva (España). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 4, 3-14.

## MINAS DE CALA



Cristal escalenoédrico biterminado de calcita con pirita sobre dolomita. Tamaño: 4 cm. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.



Cristales cúbicos de pirita, de 1,5 mm de arista sobre dolomita. Colección: J. Cabezas. Foto: F. Piña.

*Mineral Nature*  
<http://www.mineral-nature.com>

Fotos: Carlos M. Domínguez Rodríguez

La Naturaleza Mineral en tus manos  
 The Mineral Nature on your hands  
 Email: [carlosmdr@mineral-nature.com](mailto:carlosmdr@mineral-nature.com)

**PAMPLONA 2004**  
**8ª FERIA DEL COLECCIONISMO**  
 FECHA: Por confirmar **PAMPLONA**  
*Minerales, Sellos, Monedas, ...*  
 Lugar Plaza de toros (por confirmar)  
 Organiza Asociación Navarra de Mineralogía, Gemología y Paleontología  
 Información Teléfono y Fax: 948 222 389  
e-mail: [artesaniaecono@hotmail.com](mailto:artesaniaecono@hotmail.com) ; [asoc.mi.na@terra.es](mailto:asoc.mi.na@terra.es)  
Precios Especiales. Hotel para Expositores y Visitantes (previa reserva)

**BOCAMINA**  
 Revista de Minerales y Yacimientos de España

**[www.bocamina.com](http://www.bocamina.com)**

**PUBLICIDAD, SUSCRIPCIONES Y SOLICITUD DE NÚMEROS ATRASADOS:**  
 Manuel de Torres  
 El Bosque c/ Alhama, 22  
 Villaviciosa de Odón - 28670 Madrid  
 e-mail: [m.det.minerales@eresmas.net](mailto:m.det.minerales@eresmas.net)