

# Caracterización Preliminar de los Fluidos Hidrotermales Relacionados con el Depósito de Magnetita-Cobre de Cala (Huelva)

/ CRISTINA M. TOMÉ (1,\*), FERNANDO TORNOS (1), FRANCISCO VELASCO (2)

(1)Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Azafranal 48, 1ªA, 37001, Salamanca (España)

(2)Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco, Apdo.644, Bilbao (España)

## INTRODUCCIÓN.

El depósito de magnetita-cobre de Cala (Huelva) ha sido considerado tradicionalmente como un típico skarn cálcico desarrollado sobre rocas carbonatadas Cámbricas en contacto con una granodiorita (stock de Cala) (Velasco y Amigó 1981). Sin embargo, trabajos posteriores (Tornos y Casquet, 2005; Carriedo et al., 2006) han puesto de manifiesto que esta mineralización no se corresponde con el patrón típico de los skarns y que su evolución hidrotermal es más compleja que lo supuesto anteriormente. Hasta el momento, no hay estudios orientados a la caracterización de fluidos en el depósito, un aspecto fundamental para interpretar su origen. Este resumen recoge los resultados de un estudio preliminar de la evolución de los fluidos hidrotermales en distintos sectores del depósito de Cala, basado en parámetros texturales y microtermométricos.

A priori, el estudio de las inclusiones fluidas refleja una compleja historia de evolución de fluidos, con distintas etapas diferenciadas entre sí.

## GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO.

El depósito de Cala se encuentra situado en una secuencia de pizarras, rocas de silicatos cálcicos, y rocas carbonatadas (dolomías y mármoles calcíticos) de edad Cámbrica y situados en el flanco Sur del Antiforme Olivenza-Monesterio, en la Zona de Ossa Morena (SO de la Península Ibérica). Estos materiales están en contacto con la granodiorita del stock de Cala y han desarrollado un extenso exoskarn cálcico. El skarn progrado consiste en grandita con cantidades algo menores de hedenbergita-diópsido; las abundantes vacuolas en la granatita se encuentran rellenas de una asociación

de cuarzo, ferroactinolita, epidota, calcita y magnetita. Se superpone un extenso skarn retrógrado de ferroactinolita-magnetita y una mineralización de magnetita en lentejones asociada a cuarzo, clinoanfíbol, biotita verde, clorita y ankerita (Carriedo et al. 2006). Esta última asociación generalmente reemplaza a las rocas encajantes a lo largo de grandes bandas de deformación. En detalle, el depósito se localiza en una estructura de pull apart (Tornos et al. 2002) que canaliza toda la actividad magmática e hidrotermal en un encuadre mayoritariamente transpresivo.

La deformación en el área finaliza con una etapa tardía de cabalgamientos vergentes al SO, que pone en contacto el stock de Cala y las rocas alteradas hidrotermalmente; a estos cabalgamientos se asocia una alteración ácida de tipo greisen. Carriedo et al. (2006) distinguen dos unidades tectónicas mayores separadas por uno de estos cabalgamientos. La Unidad Inferior está dominada por la mineralización asociada a las bandas de cizalla; la presencia de skarn es escasa. La Unidad Superior está poco deformada y en ella domina el skarn progrado y retrógrado.

Los sulfuros (fundamentalmente piritita y calcopiritita) y oro esporádico se encuentran asociados a ambos tipos de magnetita (Carriedo et al. 2006).

La actividad hidrotermal finaliza con pequeños filones de cuarzo con sulfuros asociados a los cabalgamientos.

## METODOLOGÍA.

Nuestro estudio se centra en las tres zonas principales diferenciadas por Carriedo et al. (2006): la Unidad Inferior con magnetita bandeada, la Unidad

Superior con predominio del skarn y los filones tardíos asociados a los cabalgamientos.

Para este estudio preliminar se han tomado un total de 15 muestras de cuarzo y calcita orientadas al estudio de inclusiones fluidas. El estudio petrográfico inicial ha permitido seleccionar tres muestras de la mineralización en bandas de cizalla de la Unidad Inferior, otras tres del skarn retrógrado relleno de vacuolas en el skarn granatítico y una única muestra de los filones de cuarzo tardíos.

La rutina de estudio se ha centrado en una revisión petrográfica detallada para definir las distintas Asociaciones de Inclusiones Fluidas (F.I.A's o Fluid Inclusions Assemblages) y sus relaciones cronológicas. Las F.I.A's se definen como grupos de inclusiones fluidas formadas coetáneamente y que atrapan fluidos de un mismo evento hidrotermal (Goldstein and Reynolds, 1994). Tras la definición de las distintas F.I.A's y su estudio exhaustivo bajo el microscopio de luz transmitida, se ha realizado un análisis de SEM-CL (Scanning Electron Microscope-Cathodoluminescence) para identificar las diferentes generaciones de cuarzo y poder integrar las F.I.A's con la evolución hidrotermal del sistema. Esta combinación de técnicas permite identificar las relaciones texturales entre los distintos eventos. Finalmente, se ha realizado un estudio microtermométrico de las asociaciones de inclusiones fluidas asociadas en las etapas previas. La salinidad de las inclusiones, expresada en % peso NaCl equivalentes ha sido determinada a partir de la temperatura de fin de fusión del hielo (T<sub>m</sub> hielo). En las inclusiones con halita, la salinidad se ha calculado a partir de la temperatura de fusión de la halita (T<sub>m</sub> halita). La composición de los sistemas se ha definido en función de

**palabras clave:** Skarn, Asociación de Inclusiones Fluidas, catodoluminiscencia

**Key words:** Skarn, Fluid Inclusion Assemblage, Cathodoluminescence

las temperaturas eutécticas y su correspondiente comparación con los modelos de diagramas de fase existentes en la bibliografía.

## RESULTADOS.

### Estudio Textural mediante Análisis SEM-CL.

En las muestras de la mineralización ligada a las bandas de cizalla, las imágenes SEM-CL en cuarzo muestran texturas muy complejas que indican una importante deformación dúctil-frágil con diversos eventos de deformación y disolución-recristalización. Todos los granos de cuarzo son alotriomorfos, sin evidencias de crecimientos euhedrales típicos de crecimiento en espacios abiertos ni orientados, sino que se truncan unos con otros debido a cristalización bajo presión.

En el caso del cuarzo en la mineralización del skarn granatítico de la Unidad Superior, las imágenes de catodoluminiscencia revelan texturas más uniformes y con un menor grado de deformación. Los granos se distinguen unos de otros y sus bordes están "corroídos" por disolución y la consiguiente reprecipitación en las fracturas. En algunos casos, hay suficiente espacio como para que el crecimiento del cuarzo sea euhedral y zonado. En este cuarzo temprano hay una red de microfracturas tardías "cicatrizadas" con un cuarzo muy oscuro al que se asocian, en algunos casos, cantidades variables de sulfuros.

### Asociaciones de Inclusiones Fluidas (F.I.A.'s) y Resultados de Microtermometría.

El estudio petrográfico y microtermométrico se ha realizado en función de las asociaciones de inclusiones fluidas (F.I.A.'s). Las F.I.A.'s de la mineralización asociada a las bandas de cizalla muestran relaciones complejas y su interpretación es dudosa, ya que es probable que las inclusiones hayan sido modificadas tectónicamente. Por este motivo, se omite catalogarlas como primarias, secundarias o pseudosecundarias y utilizamos el término "asociación" que no ofrece connotaciones sobre su origen. Las asociaciones con un tamaño suficiente para su estudio ( $>8\mu$ ) son inclusiones trifásicas ( $\text{LH}_2\text{O} + \text{LCO}_2 + \text{VCO}_2$ ) y polifásicas ( $\text{LH}_2\text{O} + \text{VH}_2\text{O}$  y uno o más sólidos, fundamentalmente halita).

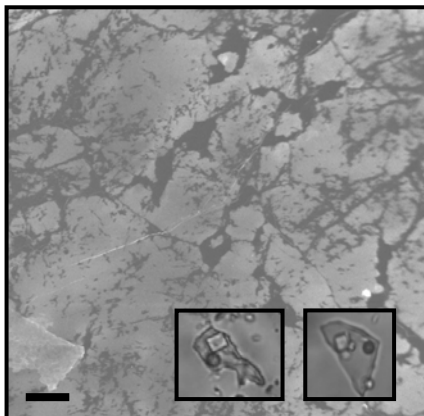


fig 1. Imagen SEM-CL de las texturas del cuarzo en la zona del skarn. En detalle, dos inclusiones fluidas de la misma zona ambas con desarrollo de un cristal de halita. Escala  $50\mu$ .

Tienen formas regulares a subredondeadas. Son abundantes y se encuentran predominantemente en las zonas más claras de las imágenes de CL. Las temperaturas de homogenización varían entre  $348$  y  $400^\circ\text{C}$ , todas a fase líquida. Las salinidades varían desde  $27.8$  hasta  $30\%$  NaCl peso eq. En algunas inclusiones ha precipitado un pequeño cristal-hijo de halita. La composición indica que, aunque modificadas posteriormente, reflejan el atrapamiento de fluidos inmiscibles pertenecientes a un sistema original de composición  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ . De hecho, en el mismo F.I.A se encuentran inclusiones ricas en  $\text{CO}_2$  y acuosas con cristal hijo de halita.

Las inclusiones fluidas en la mineralogía del skarn son bastante distintas. Incluyen asociaciones trifásicas ( $\text{LH}_2\text{O} + \text{VH}_2\text{O} + \text{S}$  (halita) (Fig.1) o bifásicas ( $\text{LH}_2\text{O} + \text{VH}_2\text{O}$ ), con sólo contenidos bajos y erráticos de  $\text{CO}_2$ . Se encuentran en las zonas internas de los granos de cuarzo (zonas grises en CL). Presentan temperaturas de homogenización ligeramente inferiores a las anteriores (entre  $278$  y  $300^\circ\text{C}$ ) y salinidades también algo inferiores ( $20.9-28\%$  NaCl peso eq.). Estas inclusiones se interpretan como pertenecientes al sistema  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{MgCl}_2-\text{KCl}$ . Algunas presentan cristales hijo de halita y/o atrapados de hematites o calcopirita.

Los cuarzos de los filones tardíos presentan asociaciones trifásicas ( $\text{LH}_2\text{O} + \text{LCO}_2 + \text{VCO}_2$ ), algunas con sólidos transparentes y/u opacos. Los tamaños de las inclusiones son visiblemente mayores ( $10-40\mu$ ) y ofrecen temperaturas de homogenización entre  $310$  y  $350^\circ\text{C}$ .

## DISCUSIÓN.

El estudio combinado mediante petrografía, microtermometría y catodoluminiscencia ha permitido establecer diferencias significativas entre las distintas rocas hidrotermales del depósito de Cala. La mineralización de magnetita en la Unidad Inferior se relaciona con la circulación de fluidos acuosos-carbónicos hipersalinos a lo largo de bandas de cizalla. Sin embargo, los minerales tardíos en el skarn crecieron en un ambiente con menos stress tectónico y a partir de fluidos acuosos también hipersalinos. Los filones más tardíos parecen estar relacionados con fluidos similares a los de la banda de cizalla.

Estos datos microtermométricos confirman que la mineralización de Cala no corresponde a un clásico skarn cálcico de magnetita en el que un exoskarn progrado y ligado a la circulación de fluidos magmáticos es reemplazado por un skarn retrógrado asociado a la circulación de fluidos superficiales (e.g., Einaudi et al. 1981). En este caso la mineralización superimpuesta al skarn progrado se relaciona con grandes bandas de deformación por la que circulan fluidos profundos, en un sistema similar al de los sistemas IOCG someros (Carriedo et al.2006).

## AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CGL 2006-03078 de la DGI y la beca de FPI BES-2007-16232 del MEC.

## REFERENCIAS.

- Carriedo, J. Tornos, F. Velasco, F y Terrón A. (2006): Mineralizaciones de magnetita asociadas a skarns y bandas de cizalla: La mina de Cala (Huelva). Geogaceta, **40**.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D. and Newberry, R.J. (1981): Skarn Deposits. Economic Geology, 75th Anniversary Volume, 317-391.
- Goldstein, R.H and Reynolds, T.J. (1994): Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. SEPM Short Course, 31.
- Tornos, F., Casquet, C., Relvas, J., Barriga, F. and Saez, R. (2002): The timing and location major or deposits in an evolving orogen. Geology London, Special Publications, **206**, 179-198.
- Tornos, F., Casquet, C. (2005): A new scenario for IOCG and Ni-(Cu) mineralization: the relationship with giant midcrustal mafic sills, Variscan Iberian Massif. Terra Nova **17**, 286-290.
- Velasco, F. y Amigó, J.M. (1981): Mineralogy and origin of the skarn from Cala, Huelva (Spain). Economic Geology, **76**, 719-727.