

# Mineralizaciones de magnetita asociadas a skarns y bandas de cizalla: La mina de Cala (Huelva)

*Magnetite deposits related with skarns and shear zones: The Cala mine (Huelva)*

J. Carriedo <sup>(1)</sup>, F. Tornos <sup>(1)</sup>, F. Velasco <sup>(2)</sup> y A. Terrón <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Azafranal 48, 37001 Salamanca. j.carriedo@igme.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Petrología y Mineralogía, Universidad del País Vasco, Apdo. 644, Bilbao

<sup>(3)</sup> Río Narcea Nickel S.A., Avda. de la Estación 22 bajo, 06300 Zafra (Badajoz)

## ABSTRACT

*The Cala iron deposit has been traditionally regarded as a classic iron skarn developed on Cambrian limestone adjacent to a Variscan monzogranitic stock. Ongoing studies show that the geologic setting is more complex and the mineralization is replacive on marble and calcsilicate and pelitic hornfels and controlled by syntectonic hydrothermal activity with a pull-apart structure. The skarn only forms a part of the hydrothermal alteration. Most of the magnetite is related to an biotite-quartz-ankerite-chlorite assemblage, while the pyrite-chalcopyrite ore seems to be slightly younger, replacing magnetite along extensional structures, sharing many features with the IOCG style of mineralization.*

**Key words:** Ossa Morena Zone, Cala, replacement, IOCG, skarn.

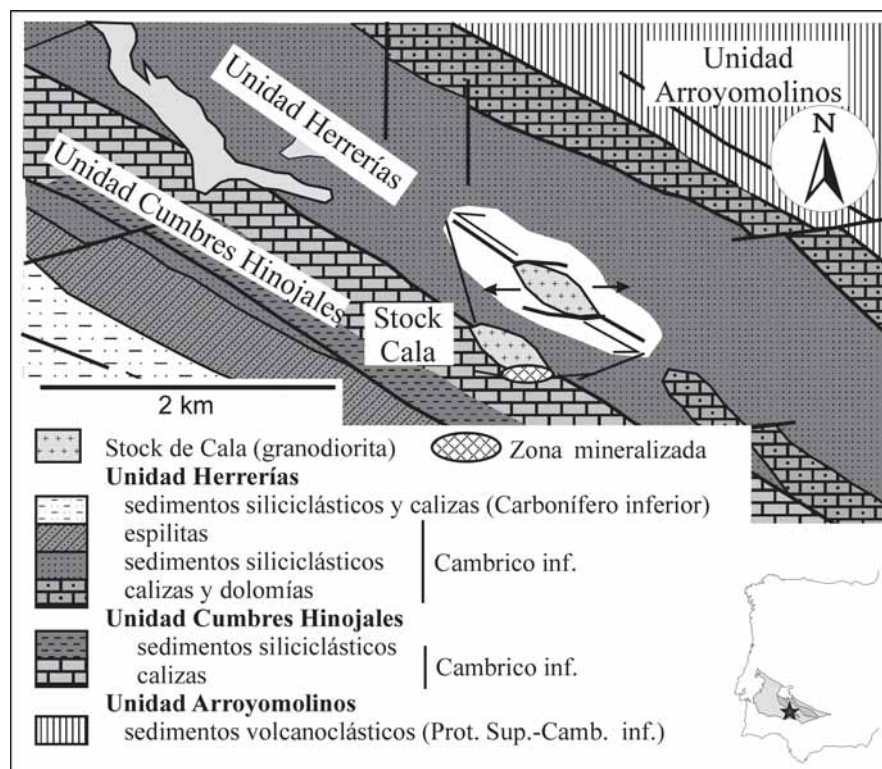
*Geogaceta*, 40 (2006), 235-238

ISSN: 0213683X

## Introducción

La mina de Cala se sitúa en el norte de la provincia de Huelva (hoja 1/50.000, 918), próxima al límite con la provincia de Badajoz. Esta mina es la última en actividad de la denominada provincia de hierros del SO, que ha sido trabajada intermitentemente desde 1901 hasta la actualidad; la máxima producción fue en 1975 con 610000 t de todo uno. Actualmente, es explotada por la empresa PRESUR, que extrae pequeñas cantidades de magnetita de alta calidad y áridos. Río Narcea Nickel SA está evaluando el depósito y definiendo zonas de alta ley en cobre y oro. No hay estimaciones fiables sobre el tonelaje total y reservas del depósito. El único estudio existente indica que en 1988 había cubricados 29 Mt con 39%Fe y 0.27%Cu.

El depósito se ubica en el flanco sur del antiforame Olivenza-Monesterio, flanco inverso compuesto por materiales del Cámbrico Inferior de naturaleza detrítica-carbonatada, y cerca del contacto con un pequeño (0.6 km<sup>2</sup>) stock Varisco de naturaleza granodiorítica- monzogranítica. La mineralización de Cala ha sido considerada como un ejemplo típico de un skarn cálcico de hierro (Velasco, 1976; Casquet y Velasco, 1978; Casquet y Tornos,



**Fig. 1.-** Contexto geológico esquemático de las inmediaciones de la mina de Cala, mostrando la relación de la mineralización e intrusión con una pequeña zona de *pull-apart* (modificado de Tornos et al., 2002).

**Fig. 1.-** Schematic geological setting of the Cala deposit, showing the relationship of the orebody and the intrusion with an small a *pull apart* structure (modified from Tornos et al., 2002).

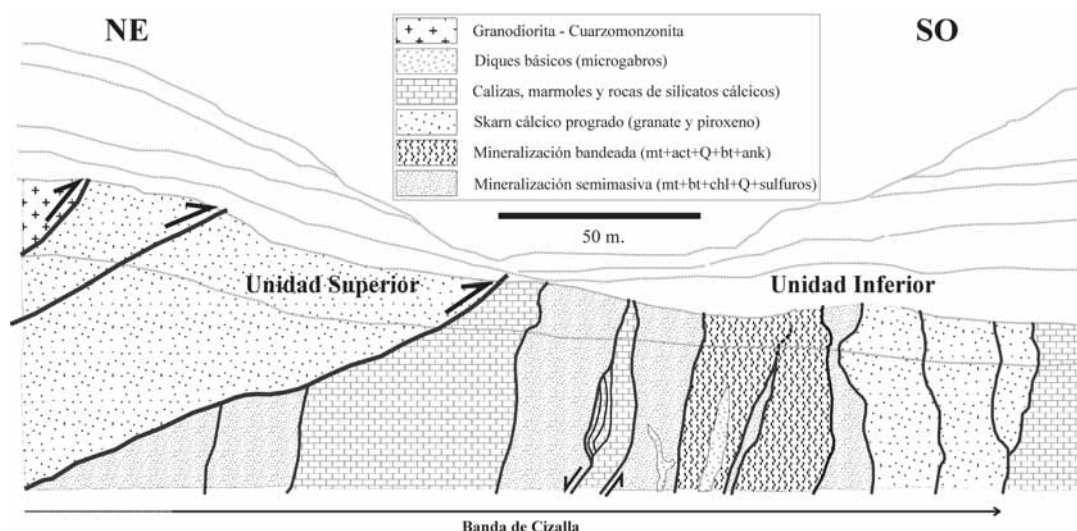


Fig. 2.- Corte esquemático mostrando la estructura general del yacimiento. Obsérvese que dentro de la banda de cizalla, los contactos litológicos están controlados por fallas.

Fig. 2.- Schematic section showing the general structure of the deposit. Notice that the lithologic contacts in the shear zone are controlled by faults.

1991). Sin embargo, un estudio de detalle sugiere que el skarn s.s. solo forma una parte de la mineralización y que la mayor parte de ésta tiene características similares a las de las partes someras de depósitos de tipo IOCG, con un importante control estructural (Tornos y Casquet, 2005).

**Geología del depósito**

En detalle, el depósito se encuentra en el contacto entre una pequeña estructura

de tipo *pull apart* (Fig. 1) desarrollada en un contacto mayor de la Zona de Ossa Morena, una zona de cizalla senestra que pone en contacto la pizarra de la Unidad de Herrerías con la caliza, roca de silicatos cálcicos y pizarra de la Unidad de Cumbres-Hinojales (Tornos *et al.*, 2002). Esta estructura extensional ha favorecido el desarrollo de una importante actividad hidrotermal y la intrusión del Stock de Cala. La intrusión ha generado un intenso metamorfismo de contacto,

dando lugar a corneana pelítica y calcosilicatada.

La zona mineralizada tiene una dirección NO-SE y una potencia de hasta 130 m. Cuenta con unos 1.100 m de longitud y pasa lateralmente a rocas aparentemente inalteradas y estériles; sólo localmente se ha observado la presencia de niveles estratoides de hematites y siderita de origen y significado desconocidos.

La morfología original de la mineralización está trastocada por cabalgamientos tardíos vergentes al SO, que han modificado casi completamente el contacto entre las rocas graníticas y el encajante (Fig. 2 y 3). Este hecho nos ha permitido establecer dos zonas diferentes: (1) La *Unidad Inferior*, que comprende una secuencia heterogénea de rocas cámbricas variablemente alteradas hidrotermalmente y deformadas. El skarn es poco abundante y presenta signos de deformación. La mineralización se presenta como tres lentejones discontinuos y subverticales de dirección N120-140°E, siempre controlada por estructuras subparalelas a la cizalla. (2) La *Unidad Superior*, que engloba el Stock de Cala y un extenso skarn cálcico, fundamentalmente progrado. Ni el intrusivo ni el skarn muestran signos evidentes de deformación. Aquí, la mineralización de magnetita se haya preferentemente relacionada con la facies retrógrada del skarn.

La roca ígnea dominante es una granodiorita a monzogranito biotítico de grano medio a grueso, que parece ser un pequeño *offset* del cercano plutón de Santa Olalla, datado en 341±3 Ma (Romeo *et al.*, 2004) o 347±5 Ma (Spiering *et al.*, 2005). Su emplazamiento fue a presiones cercanas a 0.5 kb (Velasco y Amigó, 1981) y ha generado una importante aureola de metamorfismo de contacto super-

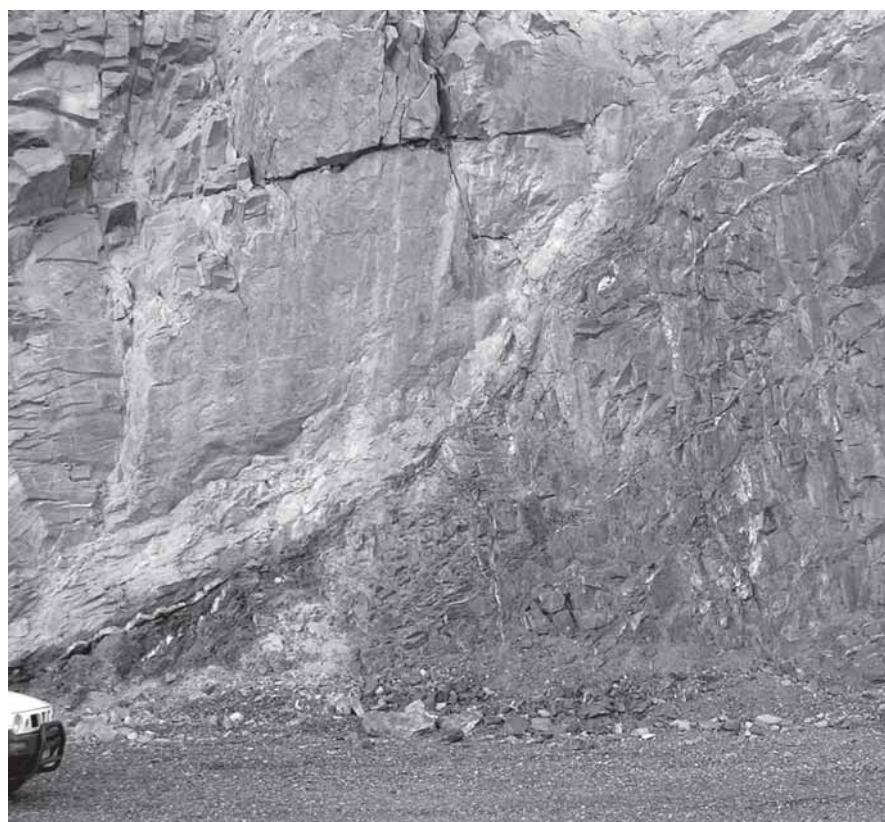


Fig. 3.- Cabalgamiento que pone en contacto el intrusivo granodiorítico (gris claro) con magnetita semimasiva asociada a la cizalla.

Fig. 3.- Thrusting of granodiorite on the shear-controlled semimassive magnetite.

puesto al regional de grado muy bajo. El granitoide muestra una intensa alteración potásica con desarrollo de biotita y feldespato K. Cerca del contacto es cortada por una alteración ácida de tipo greisen (cuarzo-moscovita) controlada por estructuras extensionales subhorizontales y que están rellenas por cuarzo, ankerita y clorita. Cuando el contacto es intrusivo se observa una zona cm a dm de endoskarn de clinoanfíbol, epidota y magnetita.

La Unidad Superior está poco deformada. Sin embargo, la Unidad Inferior engloba a una amplia banda de cizalla subvertical de unos 200 m de potencia, con abundantes estructuras SC y pliegues en vaina que indican un movimiento polifásico complejo. Ésta muestra una deformación de dúctil a frágil con predominio del desgarre senestro, pero también se reconocen estructuras indicativas de movimiento dextral y normal con hundimiento hacia el NE. Fuera de la zona mineralizada no se han encontrado evidencias de deformación, quedando la banda de cizalla restringida al contacto entre las dos unidades. Dentro de la zona de cizalla se reconocen rocas variablemente alteradas y siempre mineralizadas, pero poco skarn. Solo hay restos de un skarn granatítico residual, así como abundantes diques de microgabro.

En la mina hay grandes zonas de caliza remplazada por dolomía. Sin embargo, esta roca nunca es skarnificada.

### La alteración hidrotermal y la mineralización de magnetita

La mineralización de magnetita aparece asociada al skarn (Unidad Superior) o controlada por estructuras (Unidad Inferior). En el primer caso, la caliza y corneana calcosilicatada están variablemente remplazadas por un skarn cálcico progrado clásico a favor de contactos litológicos, con desarrollo preferente de un skarn piroxénico (salita) sobre la roca de silicatos cálcicos y de granate ( $ad_{48-50}$ ) sobre la caliza. No obstante, el tipo de skarn desarrollado no es función del encajante. La zona de granate es la dominante y es, a su vez, progradante sobre la piroxénica. Este skarn conserva el bandeado original del protolito.

El skarn retrógrado se concentra en la zona sudeste del depósito, pero es minoritario si se compara con el de sistemas similares. Está formado por clinoanfíbol y magnetita aunque son comunes los rellenos vacuolares en la granatita, formados por actinolita-Fe pargasita, epidota, calcita y cuarzo.

En la Unidad Inferior casi no hay skarn y la mineralización generalmente remplace directamente a los protolitos inalterados. Aquí, la magnetita forma grandes lentejones discontinuos dentro de la banda de cizalla. Aunque la mineralización es generalmente masiva, localmente se reconocen estructuras bandeadas típicas de bandas de cizalla y relacionadas con una deformación polifásica. Las zonas más mineralizadas corresponden a zonas de intersección de fracturas o en pequeñas zonas extensionales. En esta unidad son muy comunes diques de microgabro.

La magnetita está intercrecida con proporciones muy variables de cuarzo, actinolita, ankerita y clorita; hay posible albita residual. Esta roca hidrotermal remplace directamente a la corneana pelítica y de silicatos cálcicos. La caliza es remplazada por una mineralización bandeada y brechoide de magnetita y ankerita

### La mineralización de Cu-(Au)

En relación con la magnetita, bien remplazando, bien en venillas cortantes, aparecen abundantes sulfuros, fundamentalmente pirita. En menor proporción existen calcopirita, pirrotita y, esporádicamente, oro nativo. La mineralización de cobre-oro también tiene un importante control estructural, y se deposita a favor de planos de deformación o de tensión dentro de las zonas con mayor deformación (Fig. 4). Algunas de

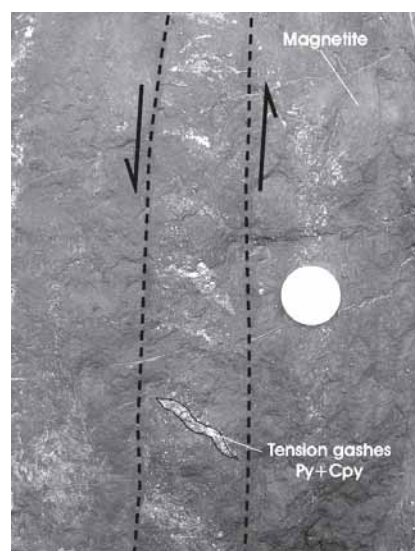


Fig. 4.- Grietas de tensión relacionadas con el movimiento de cizalla rellenas por sulfuros.

Fig. 4.- Tensión gashes shear zone related infilled by sulphides.

estas estructuras están a su vez deformadas sugiriendo que los sulfuros fueron sincrónicos con la deformación y sólo ligeramente posteriores a la precipitación de la magnetita. En general, las zonas enriquecidas en cobre son las más cercanas a la roca ígnea (Velasco y Amigó, 1981) y se encuentran en la Unidad Superior.

En el extremo occidental del depósito se localiza un filón de dirección N120-150°E hasta un metro de potencia y relleno de cuarzo, ankerita, calcopirita e importantes contenidos en oro (Filón del Portugués) que parece ser similar a la mineralización de Cu-(Bi-Au) de la cercana Mina Sultana (Tornos y Velasco, 2002). Este filón y otros similares que se encuentran dispersos por el depósito y parecen ser posteriores a la mineralización anterior.

### Aspectos geoquímicos

Los datos preliminares de isótopos de azufre ( $\delta^{34}S$ , 14.3-16.5‰) sugieren que el azufre de los sulfuros proviene predominantemente de la secuencia sedimentaria y no tiene un origen magmático. Los isótopos de oxígeno indican que el skarn progrado se formó a partir de fluidos isotópicamente pesados (10-11.5‰), de posible origen magmático o metamórfico, mientras que la composición isotópica del anfíbol del skarn sugiere la presencia de fluidos meteóricos que se mezclaron con los anteriores. Sin embargo, la magnetita de la Unidad Inferior tiene composiciones inusualmente enriquecidas en  $^{18}O$  (3.2 a 5.7‰), sugiriendo que precipitó de fluidos isotópicamente pesados (>10‰) y a altas temperaturas (>500°C) y, por lo tanto, a partir de fluidos similares a los que dieron lugar al skarn progrado y no al retrógrado, confirmando su independencia del mismo.

### Discusión y conclusiones

La mineralización de magnetita-(cobre-oro) de Cala muestra relaciones complejas con el Stock de Cala asociado. La mineralización de la Unidad Superior parece ser un típico skarn cálcico pero la de la Unidad Inferior muestra un importante control estructural, indicando que un simple proceso de skarn perimagmático no es el responsable de toda la mineralización. El aspecto relativamente indeformado de la roca ígnea aflorante, así como del skarn cálcico asociado, sugiere que se trata de un proceso posterior al desarrollo de la alteración hidrotermal y mineralización de la Unidad Inferior. Estos estarían bien relacionados con una intrusión más pro-

funda, bien ligados a la zona de cizalla regional que ha canalizado fluidos profundos hasta este ambiente somero. La presencia de diques de microgabro sugiere que la cizalla fue de importancia regional e implica condiciones localmente extensionales.

La magnetita probablemente precipitó en un ambiente caliente, alcalino y parcialmente oxidado en el que los sulfuros no eran estables. A menor temperatura, el ambiente oxidado facilitó el reemplazamiento de la magnetita por los sulfuros, permitiendo la desestabilización de los complejos tiosulfurados que los acompañan. En este marco, la formación de los filones tardíos de cuarzo-ankerita son probablemente independientes de la mineralización metasomática y representan un evento hidrotermal tardío en el que el Cu-Au precipitaron por inmiscibilidad de fluidos (Tornos y Velasco, 2002).

El modelo involucra la intrusión de plutones metalumínicos ricos en agua y derivados de la interacción en la corteza media de magmas juveniles con sedimentos en facies metamórficas de grado medio-bajo. Los fluidos magmáticos ricos en CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> exsultos durante la cristalización serían canalizados a lo largo de estructuras transcrustales hasta ambientes epizonales. Los fluidos mineralizantes aprovechan sistemáticamente planos de debilidad tales como fallas o zonas extensionales dentro de la banda de cizalla para su ascenso.

A escala regional, los depósitos de la Zona de Ossa Morena reúnen muchas de las características de los depósitos de tipo IOCG (e.g., Hitzman *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 2003), con características comunes tales como relación con bandas de cizalla, alteración Na-K generalizada, fluidos implicados isotópicamente pesados y altas temperaturas (>500°C) entre otros.

Si se compara con otros depósitos de Fe-(Cu-Au) cercanos, la mineralización de Cala se caracteriza por la poca proporción de albita hidrotermal y predominio de biotita-clorita-siderita, la ausencia de rocas ígneas albitizadas y los relativamente elevados contenidos en Cu-Au. En este contexto, la mineralización de Cala parece haberse formado en un ambiente relativamente somero donde la alteración hidrotermal está dominada por actinolita-cuarzo-ankerita y la deformación es de carácter dúctil-frágil. Sería, por lo tanto, más epizonal que otras del área, como Colmenar, La Berrona o Monchi (Tornos *et al.*, 2005).

#### Agradecimientos

A Luis Rodríguez Pevida y Lorena Luceño por su facilitación de datos y acceso a sondeos. A José Luis Canto por permitir cortésmente el acceso a la explotación, a Manuel García y Angel Canales por su ayuda en el estudio de la mina y a Carmen Conde y David Mellado por las discusio-

nes sobre la geología y encuadre tectónico. Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto DGI-FEDER 2003-0290.

#### Referencias

- Casquet, C., Velasco, F. (1978). *Estudios Geológicos*, 34, 399-405.
- Casquet, C. y Tornos, F. (1991). En: 'Skarns, their petrology and metallogeny' (Augusthitis, Ed.). Atenas 555-591
- Romeo, I., Lunar, R., Capoe, R., Dunning, G.R., Piña, R. y Ortega, L. (2004). *Macla*, 2, 29-30.
- Tornos, F., Casquet, C., Relvas, J., Barriga, F. y Saez, R. (2002). En: *The timing and location major or deposits in an evolving orogen*. (D. Blundell, F. Neubauer y A. von Quadt). *Geological Society London, Special Publications* 206, 179-198
- Tornos, F., Casquet, C. y Relvas, J. (2005). *Ore Geology Reviews*, 27, 133-163.
- Velasco, F. y Amigo, J.M. (1981). *Economic Geology*, 76, 719-727.
- Velasco, F. (1976). *Serie Universitaria, Fundación Juan March*, 3, 34 pp.
- Williams, P., Guoyi, D., Pollard, P., Broman, C., Martinsson, O., Wanhainen, C., Mark, G., Ryan y C.G., Mernagh, T. (2003). En: *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Millpress Rotterdam, (D.G. Eliopoulos Eds.). 1127-1130.