

EL YACIMIENTO DE SCHEELITA DE LOS SANTOS (SALAMANCA)

Crespo, J. L.¹; Rodríguez, P.²; Moro, M. C.³; Cabrera, R.¹; Conde, C.³; Fernández, A.³ y Rodríguez, I.³

¹SIEMCALSA. Incas, 5. 47008 Valladolid. e-mail: sjimenez@iies.es

²Navan Resources, plc. Centro Sotiel, 21300 Calañas (Huelva). e-mail: palespa1@interbook.net

³Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. 37008. Salamanca. e-mail: cmoro@gugu.usal.es

Abstract:

The tungsten skarn of Los Santos is situated in the Central Iberian Zone of the Hesperic Massif, 50 km south of Salamanca (Spain). It is a reduced Mg-skarn that replaces the Tamames Limestone Formation (Lower Cambrian) at the contact of Los Santos-Valdelacasa granitic Complex, a biotitic granite +/- cordierite situated at the north border of the Spanish Central System. There are two stages of mineralization. At the early anhydrous stage, of higher temperature, the main minerals are hedenbergite, scheelite, arsenopyrite and pyrite. The second stage zones cut across the early metasomatic stage zones and are formed by hydrous silicates, sulfides and sulfosalts.

Key words: Centro Iberian Zone, Tamames Limestone, skarn, scheelite, gold.

Introducción

El yacimiento de Los Santos se encuentra al este de dicha localidad, 50 km al sur de Salamanca, en la Zona Centroibérica. La mineralización es de tipo skarn y está situada en el borde norte del batolito granítico del Sistema Central Español. Las labores de investigación geológico-mineras del yacimiento las desarrolló Billiton Española, S.A. entre 1980 y 1986, como operador de la Asociación Promotora de Recursos Naturales, S.A. - Billiton Española, S.A., e incluyeron cartografía geológica de detalle a distintas escalas, geoquímica de sedimentos de arroyos y bateas, geoquímica de suelos de varios elementos, geofísica, más de 10.000 m de trincheras y 18.000 m de sondeo de testigo continuo. En el curso del estudio de viabilidad llevado a cabo en los años 1984-1985 se realizaron 825 m de galerías en Los Santos Sur (LSS) y una corta a cielo abierto en el Sector Central. El objetivo de estas labores fue conseguir muestras en volumen para realizar ensayos mineralúrgicos (se obtuvieron 185 muestras de unas

25 t, en total más de 5.500 t de mineral), comprobar la representatividad de las leyes de los sondeos, verificar la continuidad de la mineralización, y obtener los parámetros geotécnicos necesarios para el diseño de las labores mineras, tanto subterráneas como a cielo abierto. Aunque todos esos datos fueron favorables, la caída de los precios del W, y la del dólar frente a la peseta, hicieron que el estudio de viabilidad terminado en noviembre de 1985 fuera negativo. Nuevas investigaciones, desarrolladas en la primera mitad de 1986, tratando de buscar nuevas reservas de mineral explotables a cielo abierto, aunque fueron un éxito, no impidieron que el proyecto se cerrara en noviembre de 1986.

SIEMCALSA viene trabajando en el proyecto desde 1992 y ha realizado distintos trabajos entre los que se pueden destacar los nuevos ensayos mineralúrgicos y la informatización de los numerosos datos del proyecto en un programa de minería (Gemcom). A principios de 1999 se iniciaron nuevos estudios mineralógicos del yacimiento, a partir de muestras de superficie. A finales del verano de 1999 las labores subterráneas de Los Santos Sur, inundadas durante más de diez años, han sido de nuevo accesibles y ha sido posible realizar nuevos reconocimientos y muestreos de las distintas litologías. En el 2.000, de cara a la puesta en explotación del yacimiento, se está trabajando en el diseño de mina y de la planta de tratamiento.

Se presenta una síntesis de las investigaciones geológico-mineras y de las características petrológicas y genéticas del yacimiento, junto a los primeros resultados mineralógicos de los estudios que se están llevando a cabo sobre la petrología, fisico-química y geoquímica del mismo.

Las reservas geológicas de Los Santos son de 2,5 Mt de mineral, con 0,58% WO₃. Especialmente en los extremos oriental y occidental del sector de Las Cortinas, donde es importante la presencia de sulfuros, hay leyes máximas de hasta 2,2 g/t de Au, 100 g/t de Ag, 0,73% Cu, 0,51% Pb, 0,41% Zn y 40 ppm de Mo. En el conjunto del yacimiento la ley de Sn no suele superar los 100 ppm y la de As los 200 ppm. Hay también contenidos de Au de 1-2 g/t en la Capa 4.

Marco Geológico

El área de Los Santos se encuentra en la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico, en el Dominio de Pliegues Verticales. Al sur de Salamanca la serie estratigráfica fue establecida por Díez Balda (1986) y está constituida de muro a techo por las siguientes unidades: las Fms. Monterrubio y Aldeatejada, pertenecientes al Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG), y las Fms. Areniscas de Tamames, Calizas de

Tamames y Pizarras del Endrinal, del Cámbrico Inferior datado. Más al sur aflora el Conjunto granítico de Los Santos-Valdelacasa.

Los materiales sedimentarios fueron afectados por una deformación polifásica varisca (D₁, D₂, D₃) acompañada de metamorfismo, en el que se diferencian dos fases principales de naturaleza progradada, M₁ y M₂, y otra retrogradada, M₃. Además de un metamorfismo de contacto, de desarrollo variable, alrededor de los granitos biotíticos de la zona. El yacimiento se encuentra sobre la isograda de la biotita del metamorfismo regional. Los granitos de Los Santos-Valdelacasa son posteriores a la tercera fase de deformación (Monteserín *et al.*, 1991).

El yacimiento de Los Santos

La mineralización se desarrolla en la Fm. Calizas de Tamames, en un retazo junto al Conjunto Granítico de Los Santos-Valdelacasa perteneciente a la prolongación hacia el este del flanco norte del Sinclinal de Tamames, 3-4 km al sur del Sinclinal de Endrinal. Más al oeste hay otros afloramientos más pequeños de esta unidad e incluso algunos grandes enclaves (Viladeval *et al.*, 1980).

Las facies carbonatadas y los granitoides

En la zona del yacimiento aparecen las tres unidades cámbricas antes mencionadas, aunque muy transformadas por el metamorfismo de contacto y el metasomatismo. Como puede verse en Los Santos Sur, el paso de las Areniscas a las Calizas de Tamames es gradual. Transformadas en mármoles, van apareciendo como nódulos, niveles decimétrico-métricos y lentejones de longitudes hectométricas y potencia métrica a decamétrica desde unos 500 m por debajo de las calizas masivas, que ya tienen continuidad lateral. Este tramo principal tiene una potencia variable, desde los 50 m de Las Cortinas a los más de 200 de Los Santos Este. Presentan intercalaciones pelítico-arenosas de color oscuro o negro, ocasionalmente con niveles de pirita de origen sedimentario. A techo de los mármoles, ya en contacto con las rocas graníticas, aparecen en Los Santos Sur (T-72) unos esquistos con intercalaciones métricas de carbonatos, que deben corresponder a las Pizarras de Endrinal.

En los granitos biotíticos de Los Santos-Valdelacasa en contacto con las rocas sedimentarias se diferencian dos tipos (Peinado, 1985; Monteserín *et al.*, 1991; y Yenes, 1996). Los predominantes que corresponden a los granitos biotíticos porfídicos +/- cordierita, con enclaves metamórficos mixtos, de las rocas de caja y metamórficos restíticos de presión. Y los granitos aplíticos, que son granitos *s.s.* muy ricos en aluminio (andalucita, cordierita, en algunos casos restos de sillimanita) y volátiles, y en los que se han

producido feldespaticizaciones, turmalinizaciones y moscovitizaciones. Intruyen a favor de las fracturas NE mayoritariamente, aunque pueden seguir también otras direcciones de fractura o se disponen en pequeñas masas.

El metamorfismo de contacto

Los granitoides provocan en la serie encajante una aureola de metamorfismo de contacto bifacial de 1-1,5 km de ancho. Hay una zona externa de cordierita + biotita y una zona interna de feldespato potásico + cordierita + biotita + andalucita +/- corindón. La blastesis de corindón, ortoclasa, y cordierita ha debido estar acompañada de una fuerte deshidratación, incrementando así la proporción de la fase fluida, que combinada con la liberada por los núcleos carbonatados ha podido ser capaz de transportar el W. Las condiciones de P y T para el emplazamiento de los granitoides y el desarrollo del metamorfismo de contacto podrían ser del orden de 1 kb y 700°C de temperatura (Peinado, *op. cit.*).

Estructura

El contacto regional de los granitos con las rocas carbonatadas tiene aproximadamente una dirección ONO-ESE, paralela a la de las principales estructuras hercínicas. Las rocas carbonatadas se extienden a lo largo de unos 3 km, con una geometría compleja y favorecida por la presencia de numerosas fallas y diques de microgranitos o aplitas tardíos de orientación NE-SO. La falla de la Peña del Hierro, que divide al yacimiento en dos, es la más importante (Fig.1).

En la parte oriental las capas carbonatadas forman una estructura singular, que se corresponde con un fragmento de un cierre perisinclinal, que se puede dividir en dos sectores, Los Santos Sur, de dirección NNE y buzamiento 65° SE, donde se realizaron las labores subterráneas, y Los Santos Este, de dirección EO y buzamiento al S, sin mineralización importante conocida. Este arco es el único afloramiento continuo, y el único que está representado en los mapas publicados (Díez Balda, 1986; Monteserín *et al.*, 1991).

En la parte occidental, denominada Los Santos Oeste, las capas carbonatadas tienen dirección ONO-ESE y son subverticales o tienen un buzamiento fuerte al norte. El tramo tiene unos 2 km de longitud y se extiende hasta el mismo pueblo de Los Santos. Constituye el flanco sur del anticlinorio del sur del Sinclinal de Endrinal. De oeste a este queda dividido por fallas de dirección NE, habitualmente intruidas por diques, en varios sectores: Las Cortinas, Sector Central y Peña del Hierro. Unos 100 m al norte de Las Cortinas se extiende una capa de carbonatos, casi totalmente transformada en skarn, de 4-5 m de potencia y una gran continuidad lateral, con aproximadamente 1 km de longitud.

En cuanto a las fracturas destacan dos sistemas conjugados, NS y N 60°. Estas últimas son las más antiguas y las que han tenido una mayor actividad llegando a rejugarse durante el Mioceno. Hay además fracturas N90°-100° y N30°, también importantes.

Descripción del skarn

La mineralización de Los Santos corresponde a un clásico skarn magnésico, reducido y de W-(Au). Se desarrolla, tanto en los mármoles y niveles calcosilicatados encajantes (exoskarn) como en los granitoides (endoskarn). En su formación se diferencian claramente dos estadios.

El primero de alta temperatura, también denominado skarn progradante o skarn anhidro, se caracteriza por el desarrollo masivo de hedenbergita, dando lugar al “skarn piroxénico” en el encajante y al intermedio “feldespático-piroxénico” en los contactos encajante-granitoides. Junto con la hedenbergita se encuentran scheelita, arsenopirita, pirita y otros minerales (diópsido, grosularia, wollastonita, forsterita, apatito, vesubianita, titanita, condrodita, espinela y flogopita entre otros) en cantidad variable en función de los distintos sectores del yacimiento, que constituyen en algunos casos verdaderas facies con diferencias mineralógicas importantes.

El segundo estadio, de menor temperatura, también denominado aposkarn o skarn retrógrado, sustituye de forma total o parcial al anterior, dando lugar principalmente al “skarn anfibólico” y al “skarn biotítico”, de una menor extensión. La mineralogía que caracteriza a estos skarns es muy compleja y está constituida mayoritariamente por silicatos hidratados y abundantes sulfuros. Así, además de los minerales del grupo de los anfíboles (hornblenda actinolita-tremolita, ferroactinolita), epidota (epidota, clinozoisita, piemontita, allanita), biotita, y clorita, que son los más característicos, se encuentran, en mayor o menor proporción, calcita, moscovita, prehnita, escapolitas, cuarzo, fluorita, turmalina, magnetita, feldespatos, scheelita y abundantes sulfuros y sulfosales (arsenopirita, lollingita, pirrotina, calcopirita, esfalerita, bismuto nativo, bismutina, galena y telururos de bismuto).

En consecuencia, las etapas metalogénicas diferenciadas en la mineralización estudiada y ya puestas de manifiesto por Billiton Española, S.A. (1985) son dos. La primera de As-W, de alta temperatura, en la que se han depositado scheelita, arsenopirita (y/o lollingita) y pirita. Posteriormente se ha producido una fase de brechificación, en la que se han fracturado estos minerales y, a favor de las fisuras y huecos, se han introducido los demás minerales que constituyen la paragénesis retrógrada, de más baja temperatura e hidrotermal del yacimiento: pirrotina, calcopirita, esfalerita, bismuto y bismutina, galena y telururos de

bimuto. De esta fase de sulfuros la pirrotina parece el mineral más temprano, ya que la calcopirita, esfalerita y el resto de minerales metálicos rellenan fisuras dentro de ella. La marcasita se ha formado, muy tardía, a expensas de la pirita.

La scheelita aparece predominantemente asociada al skarn piroxénico masivo y de tamaño de grano fino. Unas veces incluida en el piroxeno y otras al contrario, de dónde se deduce que su cristalización es simultánea. Posteriormente la scheelita se encuentra removilizada y concentrada asociada a los anfíboles, epidotas, cloritas y venas tardías de apatito, calcita y talco (Peinado, *op. cit.*).

El oro libre no ha sido, por el momento, identificado. Análisis de microsonda electrónica realizados en los trabajos en curso en distintos minerales han dado contenidos importantes de oro en los sulfuros (1000-1500 ppm), que puede corresponder bien a inclusiones submicroscópicas o a una dispersión atómica en las redes cristalinas.

Consideraciones genéticas

El yacimiento de Los Santos es un skarn magnésico, reducido y de W-(Au) de acuerdo con la terminología de Einaudi *et al.* (1981). La hipótesis sobre el origen del wolframio y su concentración en el yacimiento es la establecida en el estudio de viabilidad del proyecto por Billiton Española (1985), publicada por SIEMCALSA (1997), a falta de su desarrollo y confirmación mediante los estudios mineralógicos, físico-químicos y geoquímicos en los que se está trabajando actualmente.

En la Formación Monterrubio (Precámbrico terminal), que se depositó en una cuenca marina creada por un proceso distensivo de tipo atlántico, con depósito de turbiditas y de rocas volcánicas, hay numerosos yacimientos estratiformes de scheelita al sur de Salamanca, en esquistos biotítico-feldespáticos, muy ricos en apatito, o en bandas calcosilicatadas (Morille, San Pedro de Rozados y Cespedosa). El wolframio, de fácil transporte en un medio halogenado, estaría ligado a la actividad exhalativa (Pellitero, 1981) y podría haber sido aportado a la corteza desde el manto.

En el área de Los Santos los granitos biotíticos intruyen en profundidad en la Formación Monterrubio. Según algunos autores los fenómenos de asimilación del granitoide son muy importantes. Bien por asimilación de las rocas de esa formación, bien por removilización del wolframio, éste podría haber sido incorporado al magma y posteriormente segregado en la fase de diferenciación. Recientemente, Norohna *et al.* (1999) han propuesto para algunos yacimientos del norte de Portugal y del Sistema Central Español

que los fluidos de las menas de wolframio adquieren sus rasgos químicos al atravesar las rocas metamórficas. Por otra parte Wood and Samson (2000) indican que la solubilidad de la scheelita y wolframita alcanza miles de ppm. En el contacto de los granitos con las rocas metasedimentarias los fluidos circularían aprovechando las zona permeables, ya sean rocas, diques o fracturas (Einaudi *et al.*, *op. cit.*). Las calizas del Cámbrico Inferior constituirían un excelente medio permeable y reactivo, donde el wolframio quedaría atrapado. De este modo la Formación Monterrubio habría actuado como la “roca madre” del yacimiento de Los Santos, y los carbonatos del Cámbrico Inferior como la “roca almacén”.

Agradecimientos

Los estudios mineralógicos en curso forman parte del Proyecto de Investigación 1FD97-0235 (FEDER), para el estudio de los yacimientos de oro y metales asociados en Castilla y León. Uno de los autores (I.R) tiene una beca de la Agencia de Desarrollo Económico de Castilla y León (Proyecto VA/07/01/32)

Bibliografía

- * Billiton Española, S.A. (1985): Proyecto Los Santos. Informe Final. Fase Viabilidad. Nov. 83-Nov. 85. Asociación PRN-BESA, 9 vol. Informe interno. Inédito.
- * Díez Balda, M. A. (1986): *El Complejo Esquistos-Grauwáquico, las series paleozoicas y la estructura hercínica al sur de Salamanca*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca, 162p.
- * Einaudi, M. T.; Meinert, L. D. and Newberry, R. J. (1981): Skarn deposits. *Econ. Geol.*, 75th Ann. Vol.: 317-391.
- * Monteserín, V.; Martín-Serrano, A.; Mediavilla, R.; Díez Balda, M. A.; Bellido, F.; García Casquero, J. L. y Robles, R. (1991): *Mapa Geológico Nacional E. 1:50.000, Hoja 528 (Guijuelo)*. ITGE, Madrid.
- * Norohna, F.; Vindel, E.; López, J. A.; Dória, A.; García, E.; Boiron, M. C. and Cathalinea (1999): Fluids related to tungsten ore deposits in northern Portugal and Spanish Central System: a comparative study. *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (3-4): 397-403.
- * Peinado, M. (1985): Estudio petrológico de Los Santos. Informe para la Asociación PRN-BESA.
- * Pellitero, E. (1981): La zona wolframífera centro-oriental de Salamanca. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 2: 227-264.

- * SIEMCALSA (1997). *Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, Escala 1:400.000. Memoria, CD-ROM y 3 Mapas*, Valladolid , 459p.
- * Viladeval, M.; Saavedra, J. y Pellitero, E. (1980): Scheelita en el contacto granítico Monleón-Los Santos (Salamanca): consideraciones genéticas. *Tecniterrae*, 37:29-33.
- * Wood, S. A. and Samson, I. M. (2000): The Hydrothermal Geochemistry of Tungsten in Granitoid Environments: I. Relative Solubilities of Ferberite and Scheelite as a Function of T, P, and mNaCl. *Econ. Geol.*, 95.1: 143-182.
- * Yenes (1996): *Estructura, geometría y cinemática del emplazamiento de los granitoides del área La Alberca-Béjar (Sistema Central Español, Zona Centro- Ibérica)*. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca, 229p.