

*Cuaderno
de Campo*

EL VALLE BOINÁS

Geología, desarrollo, minero y mineralogía



*Una detallada investigación y modelización geológica:
Almacén de testigos de sondeos de la campaña de investigación.*



*Importantes novedades para la mineralogía en España:
Cristal de cuprita, perfectamente desarrollado en el jaspe.*



*Un nuevo proyecto minero para obtención de oro en Asturias:
Carro perforador para voladura de producción.*

EL VALLE - BOINÁS

UN PROYECTO MODERNO CON MINERALES DE EXCEPCIÓN

■ *En febrero de 1998, Río Narcea Gold Mines, S.A. inicia la explotación del yacimiento de oro de El Valle - Boinás. Con una producción anual prevista superior a las 100.000 onzas/año, este proyecto representa una nueva era en la producción de un antiguo distrito minero que ha permanecido aletargado cerca de 1.800 años.*

Autores:

Manuel MESA (*)

Miguel CALVO ()**

Juan VIÑALS (*)**

(*) Río Narcea Gold Mines, S.A. ; (**) Museo de Ciencias Naturales de Álava (Vitoria) ; (***) Dpto. Ingeniería Química y Metalurgia. Univ. de Barcelona

INTRODUCCION

EL yacimiento de oro-cobre de El Valle-Boinás forma parte del cinturón aurífero denominado "Río Narcea" que, con 45 kilómetros de largo y uno de ancho, consiste en un alineamiento de rocas ígneas,

cuencas terciarias, zonas de alta densidad de fracturas e indicios de oro romanos con orientación N 35° E, que se extiende entre Ibias y Lueña, todo ello en la zona occidental de la provincia de Asturias.

Aunque en la zona existen labores de época romana, no es hasta 1985 cuando

comienza a ser explorada metódicamente, determinándose intersecciones con interesantes leyes, susceptibles de ser explotadas. En 1994 se constituye la empresa Río Narcea Gold Mines, para explotar inicialmente el yacimiento de El Valle-Boinás, pero con concesiones sobre todas las zonas potencialmente pro-



Extraordinarios cristales octaédricos de cuprita sobre cuarzo microcristalino. Grupo de 10 mm. Nivel 498 de la corta Boinás Oeste, obtenido en mayo de 1998. Colección : M. Mesa. Foto: F. Piña.

EL VALLE - BOINÁS

ductivas y también sobre otras zonas del Noroeste de la Península Ibérica, hasta totalizar más de 2.000 kilómetros cuadrados. Dentro del cinturón Río Narcea, los depósitos de El Valle - Boinás y Carlés, están actualmente en explotación.

El yacimiento aurífero de El Valle-Boinás, situado cerca del pueblo de Begega, en el término municipal de Belmonte de Miranda, a unos 65 km al Oeste de Oviedo, es el mayor de la zona y el primero que se ha explotado con téc-



Cobre nativo. 12 mm. Nivel 462. Jaspes de Boinás W. Colección: M. Mesa. Foto: F. Piña.

nicas modernas. Está localizado en una zona montañosa, la Sierra de Begega, en el flanco Norte de la Cordillera Cantábrica, con unas elevaciones que oscilan entre 350 y 720 metros en el área del proyecto. El depósito se ha formado por la combinación de varios procesos, comenzando por la formación de un skarn que luego ha sufrido distintos fenómenos hidrotermales, y en la que asociada a una alteración retrógrada del skarn aparece una mineralización bastante compleja.

ABSTRACT

El Valle - Boinás gold deposit has been worked in Roman times. Nearly 20 centuries after, gold from this locality has reached again the market from a minework considered to be one of the most advanced in the world. Besides gold, fine mineralogical specimens of babingtonite, native copper, cuprite and chalcocite have been obtained. Specimens of rare mineral species, not found until now in Spain, as chapmanite and roxbyite, has also been obtained.

Posteriormente, se produjeron alteraciones hidrotermales de baja temperatura, con carácter oxidante, que produjeron jaspes con una mineralización epitermal de oro (Martín Izard et al., 1998; a, b).

El acceso recomendable a la mina es por la carretera AS-227 en dirección Belmonte hasta Alvariza, donde se toma una desviación por carretera local con dirección Begega, hasta el área del proyecto.



Imagen aérea del yacimiento en 1999. Finalizan las labores extractivas en Boinás Oeste, comenzando a rellenarse el hueco. El mineral de la fase 1 de Boinás Este alimenta a la planta, mientras que en la corta de El Valle continúan las labores de desmonte de estéril. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Vista aérea del área del proyecto en 1995, antes de iniciar labores modernas. Foto: Cortesía de RNGM, S. A.



Cuadro de entibado y sección estratigráfica de los sedimentos que lo colmataron y permitieron su conservación. Los estudios geocronológicos por carbono-14 han permitido su datación en el siglo I d.C. Foto: A. Villa.

HISTORIA

La explotación de oro en Asturias data probablemente de la Prehistoria. No obstante, no existen datos sobre la posible explotación prerromana del oro en la zona del río Narcea. El único tesoro aurífero importante encontrado en un lugar relativamente próximo es el de Cangas de Onís, donde se encontraron siete torques y una diadema (Pérez Outeiriño, 1989).

En el cinturón Río Narcea, lo que sí está probado es que existen zonas extensamente explotadas por los romanos, existiendo huellas de numerosos trabajos mineros. Se conocen, al menos, los restos de 17 explotaciones romanas sobre yacimientos de oro primarios, y otras 6 de menor importancia sobre yacimientos secundarios. Entre las explota-

ciones sobre yacimientos primarios, destacan por su tamaño (más de un millón de metros cúbicos removidos en cada una) la de Begega-El Valle, la de Pontigo y las conocidas como “Pozo Cellerico” y “Cárcaba de Antoñana” (Perea y Sánchez Palencia, 1995).

Domergue (1987) describe detalladamente los indicios más importantes: El mejor conservado es el de Antoñana, situado a unos 500 metros al Este del pueblo, sobre las dos orillas del Reguero de Cabrales, en el que podía observarse un circo de unos 300 metros de diámetro producido por la explotación, restos importantes de canales y de algún depósito.

Dentro ya del área de proyecto de El Valle- Boinás, las huellas estos trabajos antiguos han sido estudiadas detalladamente antes de comenzar la explotación moderna, localizando trabajos tanto a

cielo abierto como de interior. Curiosamente, los trabajos modernos se superponen sobre los antiguos, estando distribuidos en tres zonas coincidentes con las actuales cortas. También se localizó un centro metalúrgico, con abundantes escorias, algunos restos cerámicos y vidrios, fechados hacia la mitad del siglo I d.C. (Villa, 1998).

Durante las labores de explotación de las cortas de “Boinás Oeste” y “Boinás Este” se han encontrado restos de trabajos romanos. Así, en 1999 se encontraron labores subterráneas de cierta entidad, con abundantes restos de maderas de entibación. Estas maderas tienen un aspecto idéntico a las que Naranjo (1873) describe como encontradas en los primeros tiempos de explotación de las minas de cinc de Santander. Los rollizos aparecieron muy alterados, especialmente en su parte más externa, deshaciéndose en muchos casos al secarse. Por el contrario, las tablas y cuñas, elaboradas con maderas de mejor calidad, se han conservado perfectamente, en un estado de “semifosilización”. Las dataciones de estos materiales corresponden al siglo I d.C., aunque en otras zonas no explotadas se localizaron mediante sondeos maderas del mismo tipo datadas en el siglo II a. C., mucho antes de la conquista romana (Villa, 1998).

Las características de la mineralización, fundamentalmente de tipo primario y muy diseminada, haría pensar inicialmente que, en caso de ser explotada, lo fuera solamente a pequeña escala, aprovechando concentraciones superficiales producidas por la meteorización del yacimiento.

Después de la época romana, estas minas quedaron en el olvido más completo, y no hemos encontrado ninguna referencia a ellas hasta mediados del siglo XIX. En esta época, las exploraciones de Paillette por el Norte de España dieron como resultado el descubrimiento de muchos trabajos antiguos. Este ingeniero francés descubrió, entre otras, varias minas romanas en ese área, como la antigua explotación de Begega, en la que describe que los trabajos romanos se efectuaron sobre una roca con apariencia de “brecha ferruginosa” en las proximidades de una zona metamorfozada (Paillette, 1852). Schultz (1858), considera sin embargo que estos trabajos fueron para extraer cobre, ya que en una de las explotaciones encontró minerales de cobre y de arsénico. En cualquier caso, y al contrario que en otros puntos de Asturias, no se llevaron a cabo nuevos es-



Horno excavado en el área metalúrgica de Las Escorias. Aunque el conjunto se encuentra aún en proceso de excavación, puede asegurarse su total amortización a mediados del siglo I d. C. Foto: A. Menéndez Granda.



Galería de prospección de cobre de finales del siglo XIX. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Fragmento de Terra sigillata fabricada en talleres de la Galia hacia mediados de s. I d.C. Fue recuperada en el área metalúrgica de Las Escorias, en las proximidades de la corta El Valle. Foto: A. Villa.



Proceso de recuperación y documentación de las estructuras de entibado de época romana, organizadas por cuadros. Foto: A. Villa.

tudios ni intentos de explotación, exceptuando algunos trabajos irrelevantes para la obtención de minerales de cobre a finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Los antecedentes más recientes de investigación en el cinturón Río Narcea se remontan a 1985, cuando AngloAmerican Corporation of South Africa (AAC) centra sus esfuerzos en la investigación del yacimiento de Carlés, en el municipio de Salas, perforando 20.750 metros con un total de 193 sondeos y realizando un plano inclinado de 1 km de longitud, y unos 400 metros de galerías.

En 1988, AAC y Hullas del Corto Cortés (HCC), comenzaron la exploración en la parte Sur del cinturón Río Narcea, completando 3.470 metros de perforación con 13 sondeos en El Valle y 4.550 metros con 26 sondeos en Boinás. Estas campañas de sondeos, a pesar de haber obtenido intersecciones con altas leyes de oro, no tuvieron el éxito inicialmente esperado como para definir un

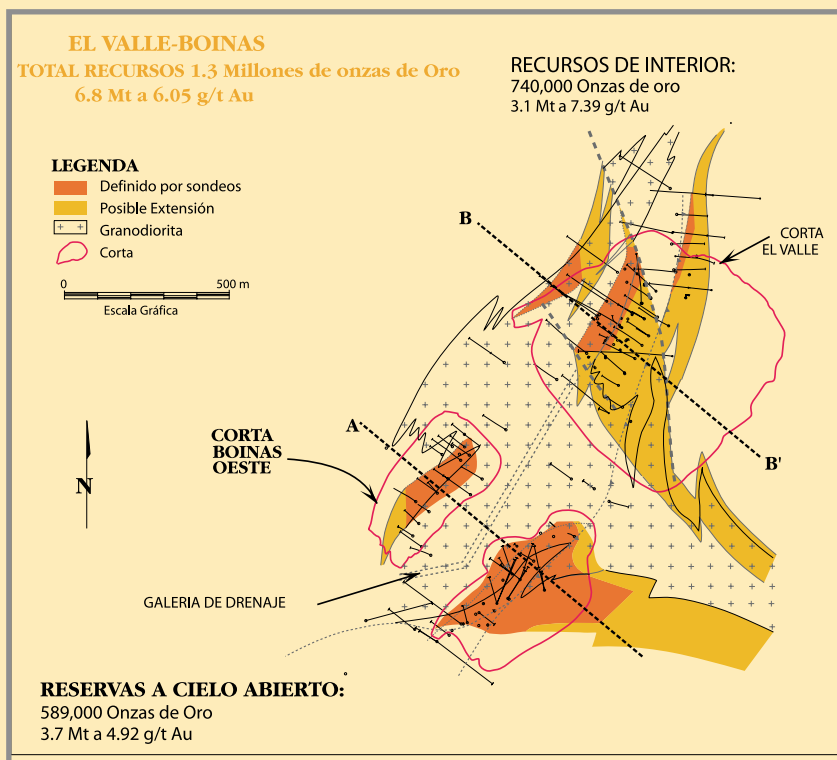
volumen de recursos de oro significativos, según los criterios de AAC. De esta forma, Hullas del Coto Cortes y los accionistas del grupo Concord Oren L. Benton y Sart Securities Limited adquieren su participación a AAC, constituyendo en mayo de 1992 la empresa Concord Minera Asturiana (CMA), y es entonces cuando el proyecto Río Narcea comienza a ser investigado por CMA y HCC formando la agrupación de empresas denominada Río Narcea AIE.

En el invierno de 1993 se define la existencia de una excelente zona de mineral de oro justamente al Oeste de los sondeos de exploración de AAC en El Valle. En julio de 1994, y con el fin de financiar la exploración y el desarrollo

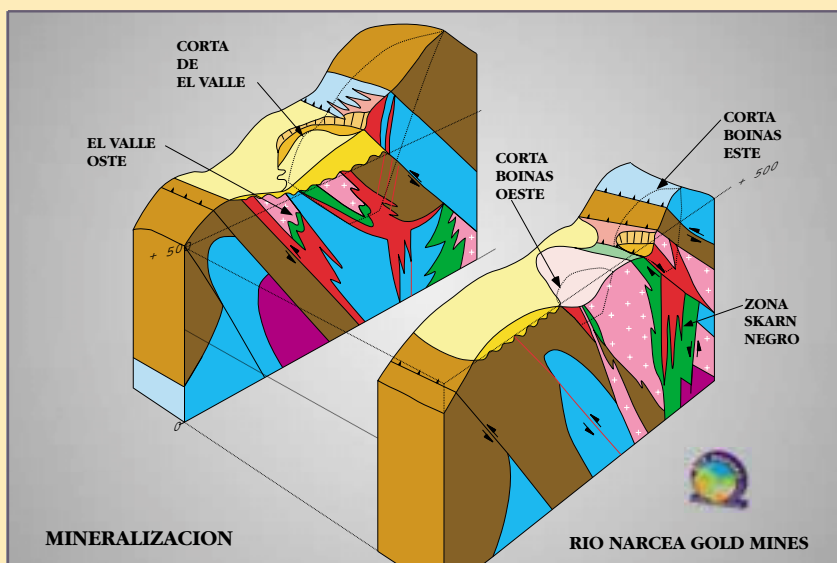
del proyecto, Río Narcea AIE se transforma en Sociedad Anónima bajo la denominación de Río Narcea Gold Mines, S.A. (RNGMSA), saliendo a la Bolsa de Toronto con el nombre de Río Narcea Gold Mines Limited.

A finales de diciembre de 1994, los sondeos de exploración alcanzaron un total de 13.548 metros en El Valle y 9.051 metros en Boinás, con un total de 22.600 metros de sondeos tanto a testigo como con circulación inversa. Una vez definidas las masas minerales económicamente rentables y realizado el estudio de viabilidad final en septiembre de 1996, la actividad del proyecto “El Valle-Boinás” alcanzó un ritmo frenético, culminando con la decisión de puesta en producción del yacimiento. De esta forma, en febrero de 1997, se inician los trabajos de desmonte de estéril en la corta de Boinás Oeste, para llegar a extraer la primera tonelada de mineral en

***“Maderas del siglo I d.C. se han conservado perfectamente, en un estado de “semifosilización”*”**



Detalle del skarn mineralizado de Boinas Oeste (bor-nita+calcopirita+electrum). El electrum resulta imperceptible en la imagen. Foto: Cortesía de RNGM, S. A.



GEOLOGÍA

diciembre del mismo año. El 15 de enero de 1998 se realiza la puesta en marcha de la planta de tratamiento, comenzando la fase de pruebas para culminar el 26 de febrero con la extracción del primer lingote de oro.

En la actualidad, Río Narcea Gold Mines, S.A. sigue siendo una sociedad filial al 100 % de Río Narcea Gold Mines Limited y está participada por NTC Trust (20 %), Lignitos de Meirama (8 %), Hu-las del Coto Cortés S.A. (7 %), un grupo de inversores extranjeros liderados por el presidente de la compañía, Chris von Christerson (6 %), fondos de inversión (13 %-15%), y otros accionistas.

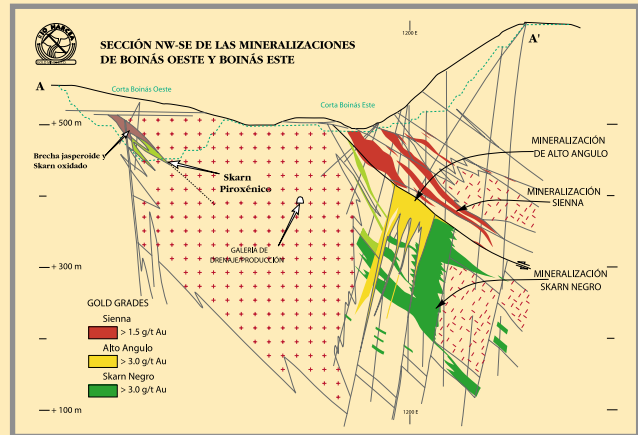
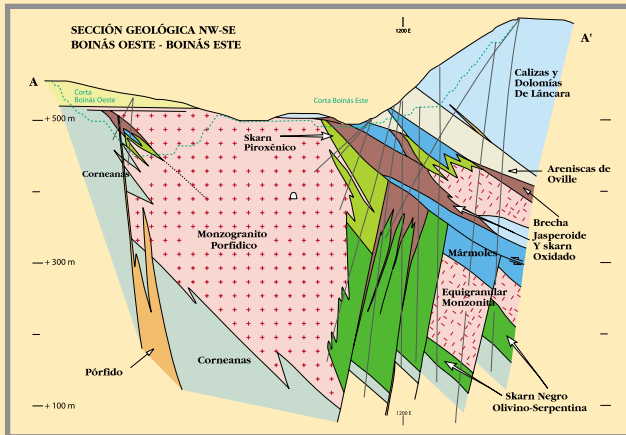
El área cubierta por el Proyecto Río Narcea se sitúa, desde un punto de vista geológico, en el extremo occidental de la zona Cantábrica. La estructura predominante es un anticlinal tumbado de dirección N 35° E, cuyo núcleo está constituido por las calizas y dolomías de la Formación Láncara (Cámbrico Medio), descansando a techo la Formación Oville (Cámbrico Medio Superior), constituida por una alternancia de pizarras y areniscas. Toda esta serie paleozoica se encuentra recubierta por sedimentos subhorizontales discordantes de edad terciaria y espesor variable.

Como consecuencia de los cabalgamientos hercínicos se producen fuertes brechificaciones, superficies de fracturación tipo cabalgamiento y fracturas verticales, que serían el germen de la posterior tectónica alpina.

La serie paleozoica está atravesada por el denominado stock de Boinás, intrusión que tuvo lugar hace aproximadamente 300 millones de años, y que generó un metamorfismo de contacto (de grado medio a bajo) y un metasomatismo, con formación de corneanas en las rocas pelíticas y de una mineralización de tipo skarn en el encajante carbonatado (Cepedal, 2001). El stock de Boinás tiene un tamaño de 1 km por 700 metros, con distintas facies, incluyendo una porfírica con cristales de feldespato de hasta 5 cm (Martín Izard et al., 2000).

El skarn que se generó es de dos tipos: uno de carácter cálcico, cuando encaja en calizas, y un skarn magnésico, cuando lo hace en niveles dolomíticos. Este último, que está formado por una alternancia de skarn diopsídico y olivínico o forsterítico, se encuentra muy serpentizado y contiene además tremolita, flogopita, magnetita y sulfuros, lo que le da un color negro en muestra de mano, por lo que fue denominado "skarn negro". Por la metalización asociada, el skarn negro tiene una gran importancia desde el punto de vista económico (Cepedal, 2001).

Además de producirse estos skarns progradados de alta temperatura, existen otras etapas posteriores de baja temperatura que dan lugar a un proceso de retrogradación, con formación de nuevos minerales de alto interés económico.



El skarn cálcico está constituido por granate, piroxenos, wollastonita y vesubiana. Con la retrogradación, se forman además epidota, anfíboles, cuarzo, calcita, feldespato potásico, babingtonita, clorita, adularia, fluorapofilita, etc. Como minerales metálicos, se forman calcopirita, bornita, pirrotina, pirita, arsenopirita, calcosina, esfalerita, magnetita, marcasita, wittichenita, telururos de oro y plata y electrum (Cepedal, 2001).

El origen del fluido formador del skarn fue predominantemente magmático. El proceso tuvo lugar a una temperatura comprendida entre 600°C y 700°C, con una presión de confinamiento en torno a 1 kbar, lo que puede suponer una profundidad entre 3 km y 5 km. A los 450°C aproximadamente se inició la retrogradación, la cual tuvo lugar en dos etapas, la primera entre 450° C y 360° C, y la segunda entre 360° C y 250° C. Esta última es la más importante desde el punto de vista de la deposición aurífera, con formación de electrum (entre el 50 % y el 10 % de plata), que va asociado preferentemente a los sulfuros de cobre, calcopirita, bornita y calcosina (Cepedal, 2001).

Posteriormente se produjo una etapa distensiva, con reactivación de roturas previas, en la que intruyeron rocas porfídicas (diques subvolcánicos), que dieron lugar a una mineralización epitermal sobreimpuesta al skarn, originando alteraciones hidrotermales y una intensa silicificación, ya en el Pérmico Inferior. El estudio de inclusiones fluidas permite atribuir a este episodio temperaturas entre 150° C y 250° C, y una presión <0,2 kbar, indicativo de un ambiente ya más somero. Esta mineralización epitermal de oro está caracterizada por el desarrollo de filones y brechas filonianas con cuarzo, adularia y carbonatos. Cuando esta mineralización tardía está sellando un skarn previamente mineralizado con Cu-Ag-Au,



Skarn piroxénico en Boinás Oeste. Imagen de 1998. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



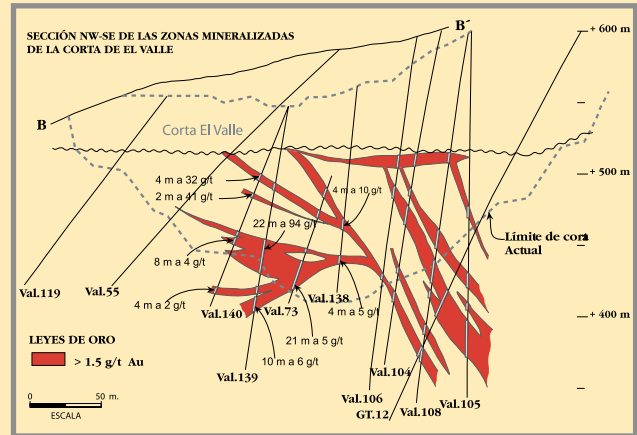
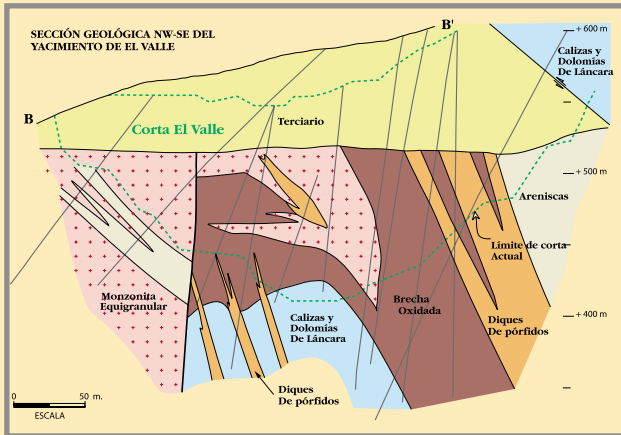
Sondeos de exploración en Boinás Oeste, 1996. Foto: Cortesía de RNGM, S. A.

se desarrollan jaspes y brechas jasperoides con cobre y oro nativos, cuprita y malaquita, así como tetraedrita y calcosina. Este tipo de mineralización re-

presenta cerca del 90 % del mineral explotado a cielo abierto.

Finalmente, la tectónica alpina complica significativamente la estructura, re-

EL VALLE - BOINÁS



Campaña de sondeos de exploración en la zona de Boinás Este. Debido a la intensa alteración de las mineralizaciones, se emplearon mezclas de lodos de perforación muy específicas, para aumentar la recuperación. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Testigo de una zona mineralizada de El Valle, 1995. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

Esquemas superiores: secciones geológicas y distribución de leyes en El Valle. Fuente: RNGM, S.A.

activando de manera importante los calbagamientos existentes y originando nuevos despegues de bajo ángulo que, en ocasiones, cortan la serie terciaria y dan lugar a brechas oxidadas mineralizadas.

MODELIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE RESERVAS

En la fase previa de exploración, se realizaron 59.000 metros de sondeos de exploración, relleno de malla y esterilización (para establecer los límites de la mineralización), geotécnicos (para caracterizar los parámetros geotécnicos de los taludes de las cortas), hidrogeológicos (para definir las posibilidades de drenaje de las explotaciones), y metalúrgicos (para establecer los procesos más eficientes de extracción del oro de la mena). Estos sondeos han de-

finido y diferenciado en este yacimiento tres grandes cuerpos mineralizados muy próximos entre sí (todos en un radio de 600 m): El Valle, Boinás Oeste y Boinás Este. De los tres, tan sólo la mineralización de Boinás Este llega a aflorar en la superficie. Boinás Oeste se sitúa entre 30 m y 40 m de profundidad por debajo de sedimentos terciarios, y El Valle entre 60 m y 70 m de profundidad.

Para la modelización del yacimiento se generó una base de datos recogiendo toda la información inherente a los sondeos de exploración, tal como:

- Situación en el espacio del collar del sondeo.
- Medidas de las desviaciones obtenidas a lo largo del sondeo mediante un Giroscopio Wellbore

Navigation, que proporciona una correcta y precisa ubicación en el espacio de los tramos minerales.

- Descripción litológica de los materiales atravesados.
- Porcentaje de recuperación de testigo junto con el análisis de las zonas mineralizadas para diferentes elementos como son Au, Cu, Ag, As, Bi, Hg, Mo, Pb, Sb, Tl, Te y Zn. Dichos análisis fueron realizados principalmente en Barringer Laboratories, Inc. (actualmente Inspectorate America Corporation) de Nevada (USA).

Con toda esta información, una vez realizados los estudios geoestadísticos encaminados a definir las distribuciones de las leyes de los diferentes elementos y la correlación entre las mismas, se creó el modelo de bloques con el programa informático Datamine, apoyándose en los wireframes o mallas de alambre que encierran un mismo tipo de litología o mineralización, y que fueron construidos a partir de secciones transversales y plantas geológicas interpretadas por los geólogos. Y una vez establecido el control litoestratigráfico, a cada bloque de 4 m x 4 m x 4 m del modelo se le asigna una ley de elementos interpolada mediante el método del inverso de la distancia. De esta forma, se evalúan los recursos geológicos y se clasifican según el grado de certidumbre en cada zona mineral en recursos medidos, indicados e inferidos.

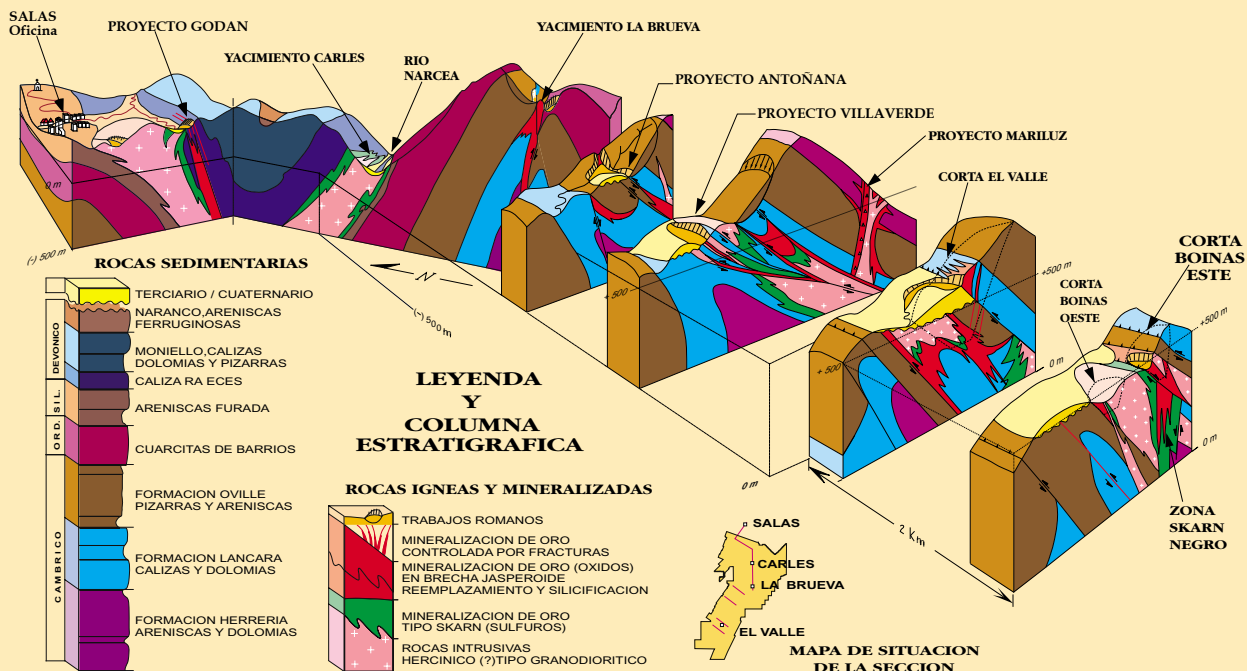
Una vez generado el modelo de bloques, se evaluaron los volúmenes óptimos económicamente rentables a extraer mediante minería a cielo abierto con el programa Whittle 4D, usando el algoritmo o método del cono flotante e introduciendo en el modelo las condiciones económicas (costes de extracción, de



Imagen aérea de la mina en 1998. Boinás Oeste en plena producción, Boinás Este y El Valle en labores de desmonte. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

PROYECTO RIO NARCEA - ASTURIAS, ESPAÑA DIAGRAMA GENERAL DE GEOLOGIA Y MINERALIZACION

(Escala Vertical doble de la Horizontal)



Cristales de cuprita en crecimiento paralelo, formando un octaedro. Ejemplar de 6 mm, obtenido en el nivel 494 de la corta Boinás Oeste. Los cristales de cuprita que se han recuperado de este yacimiento pueden considerarse entre los más notables de la Península Ibérica para este mineral. Colección: M. Mesa. Foto: F. Piña.



Cobre nativo arborescente sobre goethita. Encuadre de 30 mm. Corta Boinás Este, nivel 380. Ejemplar recogido en noviembre de 2001. La perfección y brillo de los cristales de esta mina no ha sido observada con anterioridad en ningún yacimiento clásico español. Colección : M. Mesa. Foto: F. Piña.

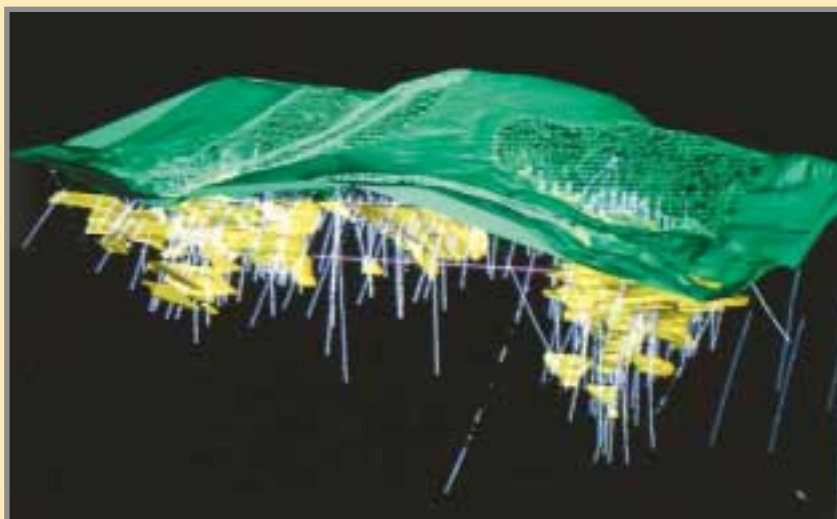


Fase preliminar de los desmontes, en 1997. Los estériles van apilándose en la escombrera del Regueral, futura ubicación de la balsa de estériles de la planta. Las potentes capas de arcillas del Terciario del desmonte de las cortas fueron empleadas para la construcción del vaso impermeable de dicha balsa. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

MINERÍA



Aspecto de la brecha jaseroide de El Valle, en el corte de un testigo de sondeo. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Modelización del yacimiento. La topografía y diseño de las cortas aparece en color verde, las masas mineralizadas en amarillo y las líneas blancas corresponden a los sondeos de investigación y evaluación. Imagen cortesía de RNGM, S.A.

tratamiento, etc.) y geotécnicas de cada bloque, y el factor tiempo. De esta forma se diseñaron las cortas optimizadas de explotación adaptándolas al volumen económico obtenido y a los parámetros de diseño (altura entre bermas de 20 m, ancho de bermas de 7 m, pendientes generales de taludes que varían según el tipo de roca entre 40° - 70°, y un ancho de pistas de transporte de unos 20 m te-

niendo en cuenta la legislación vigente). Es entonces cuando se definen las reservas aplicando criterios mineros como son la ley de corte, diluciones mineras, etc., y clasificándolas en reservas probadas, probables y posibles. En el cuadro (pág. 50) se resumen las reservas evaluadas a 31 de diciembre de 2000 por la empresa Ore Reserves Engineering de Lakewood (Colorado, USA).

Cuadro 1

Reservas/Recursos	Toneladas (x 1000)	Ley (g/t Au)	Onzas de oro (x 1000)**
Reservas Probadas + Probables *	2,830	6.58	598
Recursos Medidos + Indicados *	1,359	6.46	282
Recursos Inferidos	1,876	6.48	391

* En los recursos no están contempladas las reservas
 ** 1onza troy de oro= 31,10 gramos

Una vez concluidos los estudios de pre-viabilidad y viabilidad, ingeniería, pruebas metalúrgicas, etc, se decide en 1996 la puesta en producción del yacimiento El Valle - Boinás, con la apertura de tres cortas a cielo abierto. Estas son "Boinás Oeste", "Boinás Este" y "El Valle".

La secuencia de explotación se programó de tal forma que la primera corta en entrar en explotación fuese la de Boinás Oeste, debido a su buena ley y a que sólo presentaba 30 m de recubrimiento estéril. El desmonte de esta corta comenzó durante la etapa de construcción de la planta, de forma que hubiese mineral disponible para la puesta en marcha. A continuación se explotaría la mineralización de Boinás Este, siendo la corta de El Valle la última en explotarse. De esta forma, mediante minería de transferencia, se restaurarían las zonas ya explotadas, minimizando el impacto visual. Esta secuencia de explotación ha conllevado el hecho de tener que explotar Boinás Este y El Valle en 2 y 5 fases respectivamente, para ir compaginando el desmonte de estéril con la producción y abastecimiento de mineral a planta.

Teniendo en cuenta las reservas mineras explotables a cielo abierto, Río Narcea Gold Mines, S.A. estableció una tasa de extracción de 720.000 t/año de mineral tras la ampliación de la capacidad de tratamiento, dando un total de vida a la mina de unos 8 años, aunque seguramente la actividad se ampliará más años, a medida que progresen los trabajos de exploración que se realizan durante la explotación, al estar abiertas en varias direcciones las mineralizaciones de El Valle y Boinás Este en profundidad, y que serían económicamente viables mediante minería de interior.

Las operaciones mineras son llevadas a cabo por dos empresas contratistas con amplia experiencia en el sector. Estas empresas utilizan dúmpers de 90 t Komatsu HD 785-3 y Cat 777C, y retroexcavadoras hidráulicas Komatsu PC 1100, Komatsu PC 1000 y Liebherr 984, además de un amplio conjunto de equipos auxiliares como son bulldozers, perforadoras, motoniveladoras, rodillos compactadores, camiones cisterna, etc., alcanzando un ritmo de extracción de estéril de hasta 40.000 m³/día.

La extracción de estéril utiliza los sistemas clásicos de cualquier cielo abierto, utilizando voladuras con barrenos de 4 a



Espectacular vista del sinclinal de Calabazos, en las proximidades del área del proyecto. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Terreno original de la zona de Boinás Este (1995). A la derecha, el pueblo de Boinás. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

6,5 pulgadas y explosivos tipo anfo, geles y emulsiones. En cambio, la explotación de las zonas mineralizadas requiere un cuidado diferente a lo que es característico en otras explotaciones de minería metálica, siendo esencial definir y delimitar las zonas con contenidos superiores a la ley de corte. Para ello, y con el fin de minimizar al máximo la dilución, se regenera el modelo de bloques de 4 x 4 x 4 metros que sirvió de base para el diseño de la explotación, a bloques de 1 x 1 x 4 metros, que son interpolados a partir de los sondeos de control de leyes utilizando una valiosa aplicación informática de creación propia, denominada RecMin, y que se ha adaptado a las necesidades específicas de RNGMSA en el seguimiento diario de la explotación.

El proceso de control de leyes consiste en la realización de una malla de sondeos de 3 m x 2,5 m y 4 m de profundidad (altura del banco de explotación en el mineral), con el fin de delimitar las zonas mineralizadas. Esta labor es realizada por perforadoras Tamrock CHA 1100, con martillo en cabeza y circulación directa, que recoge una muestra homogénea y representativa de los materiales atravesados. Esta muestra, entre 14 kg y 20 kg, es descrita por el geólogo, que la identifica mediante una etiqueta de códigos de barras, para su posterior manipulación en el almacén de preparación de muestras y análisis en el laboratorio. Una vez realizados los análisis de las muestras por “fire assay” (ensayo por el fuego) y posterior absorción atómica, éstos son exportados a la base de datos de control de leyes junto con las coordenadas topográficas de los sondeos que previamente se han tomado. Así se obtiene una distribución espacial de los



Se inicia la exploración con sondeos (véanse las plataformas). Vista del desaparecido pueblo de El Valle (1996). Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



De la descripción detallada de los sondeos de exploración se dedujo el modelo geológico del yacimiento y la caracterización de los parámetros geotécnicos de los macizos rocosos. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Fase de construcción de la planta de tratamiento, en 1997. Como paso previo a la elección del emplazamiento se realizaron sondeos de esterilización para confirmar la inexistencia de mineral bajo las instalaciones. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



elementos Au, Cu y Bi a lo largo de la plataforma a explotar, y que sirve de base para el recálculo e interpolación de bloques de 1 m x 1 m x 4 m.

De esta forma, y aplicando una ley de corte de 1,5 g Au/t, se delimitan las zonas minerales sobre los bloques, conformando polígonos de alta ley (>1,5 g Au/t) destinados al stock de planta y polígonos de baja ley (entre 1 g y 1,5 g Au/t), almacenados en un stock independiente para una posible recuperación futura. Estos polígonos son posteriormente replanteados topográficamente en la explotación para su extracción, siempre bajo la supervisión del geólogo de control de leyes.

A enero de 2002, el volumen total de estéril movido por estas empresas contratistas ha sido de 37,1 millones de metros cúbicos. Como datos técnicos, se pueden citar el cierre de Boinás Oeste (en septiembre de 1999) con un balance de 618.451 t de mineral de 5,22 g/t de oro y 0,42 % Cu, que representa 103.800 onzas, y el de Boinás Este (en enero de 2002), con 922.932 t de mineral de 5,91 g/t Au y 0,56 % Cu, equivalentes a 175.200 onzas más, además de 817.472 t de mineral de las fases 1, 2 y 3 de El Valle (explotación en curso) con 6,45 g/t Au y 0,38 % Cu, con otras 169.000 onzas de oro.

En la actualidad, la operación minera se centra en la corta de El Valle, en la que aún restan por extraer 9 Mm³ de estéril con los que se rellenará Boinás Este para su restauración, y unas 1,3 Mt de mineral de 8,79 g/t Au y 0,08 % Cu, que abastecerán la planta hasta finales del 2004.

Por otra parte, RNGM también cuenta con una infraestructura minera de interior, consistente en una galería de unos 1.000 m de longitud, que permite el drenaje por gravedad de la formación calcárea que alberga la corta de El Valle, y unos 1.300 m de rampa descendente de exploración-explotación y que actualmente se halla en fase de ampliación. Estos trabajos tienen como finalidad definir la continuidad de la mineralización del “skarn negro” en las zonas profundas del yacimiento y preparar la infraestructura de explotación por minería subterránea de estas zonas de alta ley, utilizando técnicas de corte y relleno (cut & fill convencional o undercut & fill, dependiendo de los parámetros geotécnicos del cuerpo mineralizado a extraer).

Inicio de labores de desmonte del Terciario en Boinás Oeste (1997) y acondicionamiento de la explanada de la planta de tratamiento. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento ha sido diseñada y construida por Signet Engineering, filial de Fluor Daniel Corp., pudiendo tratar unas 720.000 t/año con una combinación de circuitos de gravedad, flotación, y lixiviación con carbón (CIL), y produciendo una media de 100.000 onzas de oro anualmente. Los residuos finales descontaminados se depositan en una balsa de estériles, de la que se recupera el agua por decantación para su recirculación a la planta de tratamiento (agua de proceso).

El tratamiento del mineral comprende las fases de trituración y molienda, gravimetría, flotación, lixiviación/CIL/descontaminación y electrolisis.

El proceso comienza con la alimentación de la tolva con una pala cargadora desde el stock de alta ley. El mineral es triturado inicialmente en una machacadora de mandíbulas a un tamaño de menos de 153 mm, y transportado mediante cintas a silos de alimentación intermedios que abastecen al circuito de molienda. El mineral machacado descarga en un molino semiautógeno de 5,8 m de diámetro, dotado de velocidad variable, en el que se añade el agua necesaria para el proceso. El mineral molido en esta primera etapa se descarga en una caja de bombas común con un molino de bolas, de 4 m x 5,8 m, que opera en circuito cerrado con una batería de ocho hidrociclones de 300 mm de diámetro.

La reducción del tamaño de los minerales en el molino semiautógeno, a menos de 1 mm, produce la liberación de pequeñas partículas de oro, cobre y plata nativos en tamaños entre 100 y 500 micras, que pueden recuperarse por gravimetría dada la diferencia de densidad con la ganga de mineral. De esta forma, la mitad de la carga circulante de molienda se trata en un nuevo circuito de gravedad, consistente en tres bancos de espirales dobles de desbaste 12LM3/2 y dos concentradores Knelson centrífugos de 30 y 20 pulgadas, que retiran el oro grueso que después es refinado en otro Knelson de limpieza para producir un concentrado limpio vendible. El estéril de esta línea pasa a dos grupos de espirales de desbaste, seguidas de otras de limpieza que producen un preconcentrado de minerales pesados, fundamentalmente cobre, que se limpia en dos mesas Holman, de donde se obtiene un concentrado al que se le elimina el agua en un tornillo de desaguado para su posterior envasado.



Labores de carga de estéril en la corta de Boinás Este (1999). Las empresas contratistas apostaron por la adquisición de equipos nuevos para el importante movimiento de tierras previsto. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Perforadoras Tamrock realizando sondeos de control de leyes en la corta El Valle. Obsérvese el muestreo sistemático de rípios para su posterior análisis. Cada perforadora dispone de una cuarteadora para la obtención de una muestra representativa de toda la columna del sondeo. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

Los mixtos de la mesa Holman se tratan en otras dos mesas para limpieza del cobre, y los estériles de gravedad se recirculan al molino de bolas.

Los minerales, una vez molidos en los molinos semiautógeno y de bolas a 80 % menor de 74 micras y tras el proceso de gravimetría, contienen aún cantidades significativas de oro y cobre nativo, así como cantidades variables de sulfuros de cobre. En el proceso de flotación se intenta reducir al mínimo el contenido en cobre soluble, debido a que este cobre causa problemas tanto en el siguiente proceso de cianuración (alto consumo de cianuro) y adsorción del carbón (cinética lenta y disminución de

la capacidad de adsorción del oro), como en los procesos subsiguientes de desorción, electrodeposición y fusión.

El principio básico de la flotación de espumas es la flotabilidad selectiva de minerales valiosos que, al ser recubiertos en una pulpa agitada y aireada por reactivos específicos colectores, son transportados como espumas a la superficie de las celdas de flotación. Este circuito de flotación consiste en una línea de desbaste formada por celdas de 20 m³, seguidas de un banco de agotado compuesto por 4 celdas de 8,5 m³ cada una. El relavado está compuesto por dos etapas de dos celdas de 8,5 m³, de donde los concentrados se bombean al espesa-



Aspecto del fondo de corta de la fase 1 de Boinás Este en diciembre de 1999. En el talud derecho de la fotografía se aprecia la mineralización de skarn fresco (abajo), en contacto con la roca ígnea semialterada (arriba). Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Skarn wollastonítico cortando diferenciados ígneos de cuarzo-feldespato y venas de piroxenos (hedenbergita) en la zona Mónica de Boinás Este. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

dor de cobre para su posterior filtrado y envasado.

Mientras, los estériles del desbaste pasan a un espesador de 24 m de diá-

metro, donde se recupera el agua de proceso para molienda y flotación, y se ajusta la densidad de los sólidos desde un 24 % - 25 % hasta un 40 % - 45 %, como paso previo a la lixiviación. Los

concentrados de flotación se concentran en un espesador de 5 m de diámetro. Desde este espesador, los concentrados se filtran con un filtro a presión que alimenta unos tornillos de alimentación para el llenado y pesado de las bolsas de concentrado. Estos concentrados contienen cantidades variables de cobre (30 % - 40 % Cu), y contenidos entre 200 - 400 g Au/t.

Los estériles de flotación aún contienen cantidades apreciables de oro muy fino y cobre también muy fino, oxidado o encapsulado en la ganga, que no han sido recuperados. El proceso de lixiviación con cianuro y carbón activado (Proceso CIL), tiende a recuperar este oro e inevitablemente una parte del cobre, por disolución y adsorción. En presencia del oxígeno del aire, el ion cianuro reacciona con el oro formando complejos de diferentes estequiometrías en función de las concentraciones de oro y de cianuro $[Au(CN)_x]^{-(x-1)}$, que es adsorbido por el carbón activado.



En la planta de tratamiento se obtienen tres tipos de productos: un concentrado gravimétrico de alta ley, otro concentrado de baja ley procedente del circuito de flotación y el bullion de oro. La zona de acopio o stock de abastecimiento de la planta (esquina inferior izquierda de la foto) es el lugar donde han podido salvarse de la machacadora algunas de las diversas muestras de especies minerales que aparecen ilustrando este trabajo. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

En la práctica, los estériles, tras haber sido ajustados en densidad en el espesador formando una pulpa de tamaño inferior a 74 micras, son bombeados al circuito de CIL, compuesto por seis tanques iguales, uno de lixiviación con cianuro y cinco de lixiviación y adsorción con cianuro y carbón activado (Tanques CIL). Cada tanque, de 11 m de diámetro, tiene a su vez una criba vertical cilíndrica con una apertura de 700 micras, que retiene el carbón. En el tanque n° 1 de CIL se ha instalado una bomba vertical, que recupera el carbón cargado que se envía a la criba de recuperación vibrante, donde lo separa de la pulpa para ser tratado con el proceso de elución. La transferencia de carbono de los tanques 2, 3, 4 y 5 se realiza con eyectores de aire. Los procesos de lixiviación y de adsor-

ción de oro se llevan a cabo en tanques en los que la pulpa pasa de uno a otro mediante rebose. La transferencia del carbono se realiza en contracorriente, con una frecuencia diaria, hasta que alcanza el tanque que alimenta el proceso de desorción. Los estériles del último tanque CIL, con un bajo contenido ya de cianuro, pasan por gravedad a un tanque de 550 m³ de capacidad para ser destoxificados por el proceso INCO de SO₂/aire, para descontaminarlos del cianuro residual y precipitar los metales pesados. Los residuos, una vez descontaminados, se desmuestran para análisis del contenido de cianuro (que debe ser menor de 0,5 g/m³), y son finalmente bombeados a la balsa de estériles.

El carbono cargado en oro del primer tanque de CIL, se transfiere por medio

de bombas verticales centrífugas a una columna de elución y la pulpa retorna al primer tanque por gravedad. El circuito de elución está basado en el sistema AARL y se lleva a cabo en una columna de 9 m³, con una capacidad nominal de 4 toneladas de carbón, obteniéndose una solución madre rica en oro. Este proceso de elución se lleva a cabo en un período de 8 horas durante el turno de día, utilizándose 2 horas para las operaciones de carga y descarga. Tras haberse llevado a cabo el ciclo completo de elución, el carbono es transferido por medio de inyector con agua al último tanque CIL o al circuito de regeneración. Por razones de seguridad, esta operación se lleva a cabo tan rápidamente como sea posible. Dado que el carbón puede tener altos contenidos en cobre, también se ha previsto que



Aspecto del desmonte de la corta El Valle en octubre de 1999. Aunque este lugar ha proporcionado extraordinarias cristalizaciones de calcosina, sin antecedente conocido comparable en la Península Ibérica, la recolección de nuevas muestras no será viable tras el relleno y restauración de los huecos. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Cristales de cobre nativo, grupo de 10 mm. Boinás Oeste. Colección: G. García. Foto: F. Piña.



La fusión del bullión de oro y plata se realiza una vez por semana, en un horno basculante que trabaja a 1.200°C. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

puedan hacerse unos lavados fríos con cianuro que retiran este cobre antes de llevar a cabo la elución. Este ciclo se puede realizar opcionalmente de forma automática, controlado por el programa central de control de la planta.

El carbón descargado de oro se transfiere a un horno de regeneración horizontal, alimentado por propano y que opera a 650° C - 700° C, con una capacidad de 250 kg/h. El carbón, una vez regenerado, se lava y se criba para retirar las partículas finas antes de ser enviado a una criba de seguridad de carbón. La regeneración se realiza aproximadamente en un tiempo de 15 minutos. Las soluciones madres provenientes de la elución del carbón cargado, se almacenan en el tanque de electrolitos en cabeza del proceso de electrodeposición. Esta sección, enclavada en el área de seguridad de la planta, dispone de 4 celdas de electrolisis con sus correspondientes rectificadores de co-



La línea de flotación tiene por objeto reducir el contenido en cobre tras la gravimetría, y evitar así fuertes consumos de cianuro y posteriores interferencias en la extracción del oro. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

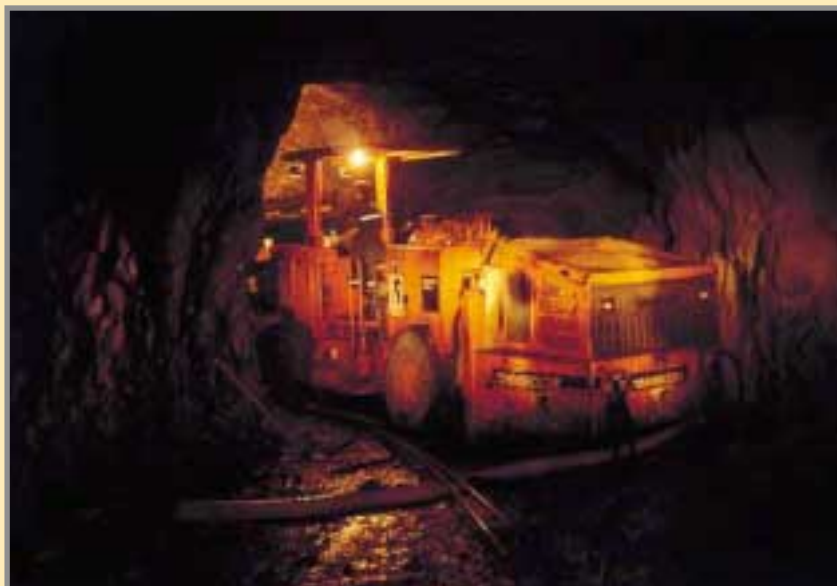


Molino semiautógeno y de bolas (en primer plano) para una salida de producto inferior a 74 micras. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

riente y cada una con 9 cátodos de lana de acero. La solución del electrolito se recicla a través de las celdas durante unas 16 horas, hasta que la solución contenga menos de 5 ppm de Au. Los cátodos cargados con oro y plata se descargan semanalmente y se calcinan a 750° C antes de la fusión.

La fusión se realiza en un horno basculante con crisol de 0,04 m³ a temperaturas de 1.200° C. Los concentrados de oro y plata de los cátodos se mezclan con una cantidad apropiada de fundentes como paso previo a la fusión, efectuándose la colada en lingoteras dispuestas en escalera. El proceso de fusión generalmente se lleva a cabo una vez por semana o más frecuentemente si así lo requiere la producción. Todo el equipo en el que se procesan concentrados de oro está situado en una zona de seguridad, instalada en un área completamente cerrada, provista de equipos de vigilancia electrónica y de vídeo para reducir al mínimo cualquier riesgo de robo. En ella solo puede entrar el personal autorizado.

Después del proceso INCO SO₂, los estériles con un contenido menor de 0,5 mg/l de cianuro libre son almacenados en una balsa diseñada por la empresa británica Knight Piesold, asegurando vertido cero. La construcción del vaso donde se albergan estos residuos cuenta con sistemas de impermeabilización, que incluyen una capa de arcilla de dos metros de espesor en el fondo y tres en los laterales para evitar cualquier tipo de filtración. Para aumentar esta medida de protección, sobre esa capa se encuentra un sellado plástico de polie-



Perforación con jumbo Tamrock en las labores de ampliación de la infraestructura de interior. Diciembre de 2001. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Sondeos de interior realizados para el drenaje de la corta El Valle (1997). Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

EL VALLE - BOINÁS



Perfectas cristalizaciones y absoluta limpieza del cobre nativo en las fisuras de la goethita. 20 mm. Nivel 385 Boinás Este. Colección: M. Mesa. Foto: F. Piña.



Imagen intermedia de la restauración de la Escombrera Sur en la zona de la galería de exploración que actualmente drena el acuífero de El Valle, y que en un futuro pasará a fase de producción. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Perforación y voladura en Boinás Este de los jasperioides y el skarn oxidado (mineralización tipo "Sienna"). En la parte superior de la fotografía se observa el cabalgamiento de las dolomías de la Formación Láncara sobre las areniscas de la Formación Oville. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Imagen del portal de la galería de drenaje en 1999. Posteriormente, este valle se utilizó como escombrera, siendo necesario prolongar artificialmente la galería. Foto: G. García.

tileno de alta densidad de 2 mm de espesor. El material fue anexionándose con doble soldadura, proceso que superó rigurosas pruebas de seguridad. Sobre esta base impermeable se ubicó un complejo sistema de drenaje, compuesto por una red de tuberías, colocadas en líneas paralelas cada diez metros, cuya función es la de recoger el agua intersticial que se obtiene como resultado de la presión que soportan los lodos que se van acumulando. Este sistema, junto con la deposición de lodos de forma subaérea, permite la compactación de los mismos, alcanzando una mayor densidad que la que sería posible en un sistema no drenado.

En cuanto a los contenidos de cianuro residual en los estériles de la balsa, éstos se reducen con el efecto de la luz solar, el oxígeno y bacterias reinantes en el medio. En este sentido, la balsa de lodos de la planta de El Valle-Boinás, puede considerarse como modelo a escala mundial.



Concentrador Knelson 30, de gravimetría. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

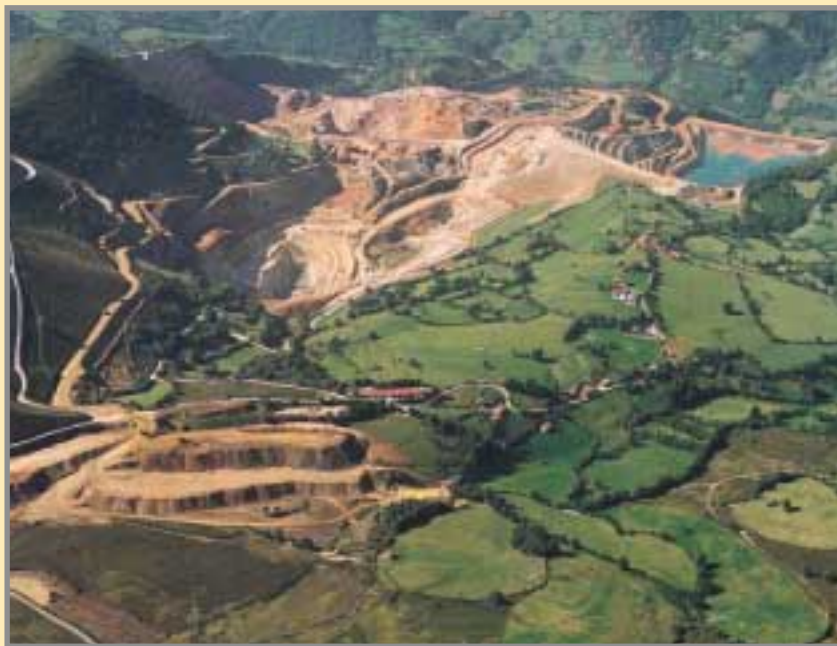
MINERALOGÍA

Sin tener en consideración los minerales constituyentes de la intrusión granodiorítica y de los diques subvolcánicos que cortan tanto a la intrusión como al skarn y rocas sedimentarias, en el yacimiento de “El Valle-Boinás” pueden considerarse dos episodios mineralizadores claramente distintos.

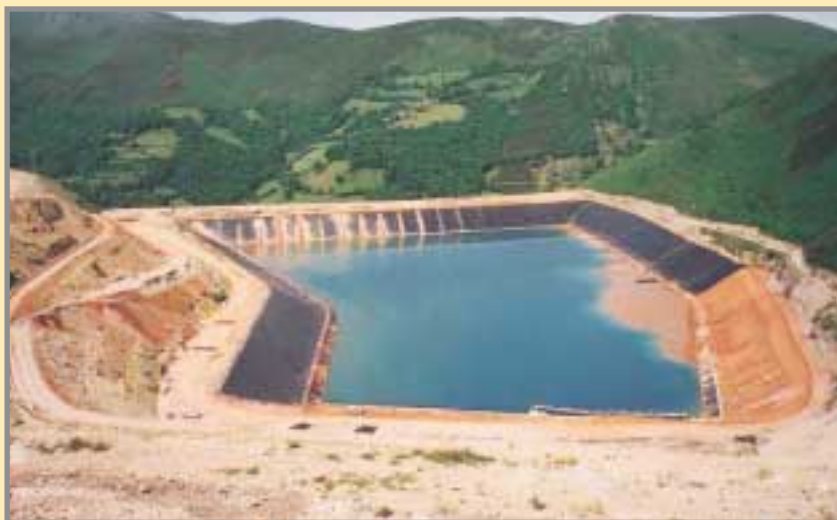
Por un lado, la deposición propia del skarn, en cada uno de sus tipos y con el ya mencionado proceso de retrogradación. Y, en segundo lugar, la fase epitermal del hidrotermalismo tardío, que daría lugar a toda la mineralización jasperoide. Este entorno es el más interesante desde el punto de vista económico, y difiere sustancialmente en cuanto a mineralogía, de tal forma que serán descritos separadamente.

Minerales del skarn

En el yacimiento existen dos tipos de skarn, uno cálcico, formado a partir de los niveles calizos de la Formación Láncara, y otro magnésico, denominado localmente “skarn negro”, formado a expensas del nivel dolomítico inferior de la misma formación. Las masas de skarn a explo-



Vista aérea en noviembre de 1999 del complejo minero. Boinás Oeste había cesado su producción, comenzando la fase de relleno y restauración. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



La balsa de estériles de la mina ha sido diseñada por la empresa británica Knight Piesold, asegurando vertido cero. Los residuos del proceso se reducen con el efecto de la luz solar, el oxígeno y la actividad bacteriana. En este sentido, esta presa puede considerarse como modelo a escala mundial. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Primera entrada de mineral a la planta, en enero de 1998. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Los productos de planta y las muestras de control de leyes son analizados en el laboratorio de la empresa. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.

EL VALLE - BOINÁS



1996: imagen inicial del terreno. Concluida la fase de exploración, se decide la puesta en marcha de la explotación.



Marzo de 1997: preparación de accesos y explanación para la planta de tratamiento.



Verano de 1997: Primeros terraplenes en la escombrera del Regueral.



Octubre de 1997: Intensificación de los desmontes en las tres cortas.



1998: Boinás Oeste se encuentra en plena producción. La presa de estériles ya se encuentra operativa.



1999: Boinás Oeste finaliza y comienza su relleno. Boinás Este toma el relevo de la producción.



2000-2001: Boinás Este abastece la planta. El Valle continua en desmonte.



Perfilado y restauración de estériles frente a la corta El Valle.



Construcción de una chimenea de ventilación con raise-boring para la mina subterránea. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Acondicionamiento de escombreras restauradas, previo a la hidrosiembra. Zona de la galería de drenaje. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Extracción selectiva del mineral de alta y baja ley, con arreglo a los resultados analíticos de los sondeos de control de leyes. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Carga de barrenos en el nivel 380 de Boinás Este, en noviembre de 2001. Esta plataforma destacó por sus excelentes cobres nativos. Foto: Cortesía de RNGM, S.A.



Cristales de cobre nativo. 35 mm. Nivel 380 de Boinás Este. Colección: M. Mesa. Foto: F. Piña