

MINERÍA Y ACTUALIDAD EN LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

■ *Sobre una provincia metalogenética tan importante como es la FPI, con 5.000 años de historia minera y más de 200 minas abiertas en diferentes épocas, sería imposible dar una visión exhaustiva de todas ellas en un artículo como éste, y tampoco se pretende. Se describen aquí las minas que han estado en actividad en los últimos veinte años y que han sido referencia de la minería de la Faja, o lo serán en un futuro próximo.*

Autores:

MIGUEL CHECA ESPINOSA

Ingeniero de Minas. Boliden-Apirsa, S.L. (Arts.: La Zarza, Sotiel y Nuevas Perspectivas).

IVÁN CARRASCO MARTIAÑEZ

Ingeniero de Minas. Minas de Río Tinto, S.A.L. (Arts.: Riotinto, Neves Corvo, Aljustrel).

ADÉN MUÑOZ LÓPEZ-ASTILLEROS

Ingeniero de Minas. INSERSA. (Art.: Minas de Tharsis).

BÁRBARA GÓMEZ DELGADO

Ingeniera de Minas. Cobre Las Cruces, S.A. (Art.: Minas de Aznalcóllar).

LA minería de la FPI está, en general, muy condicionada por las bajas leyes de sus minerales, a pesar de los enormes tonelajes de muchas de sus masas. Este hecho obliga a un elevado esfuerzo de los mineros, que se ha traducido en un continuo desafío tecnológico para arrancar los preciados metales de la tierra de forma económica.

MINAS DE THARSIS

Los yacimientos de Tharsis (Huelva) han atraído la atención de los mineros desde tiempos remotos. Prueba de ello son los 3,5 millones de toneladas de escorias tartésico-romanas, de las que podrían haberse extraído 170.000 t de cobre y cantidades importantes de oro y plata. Tartesos y romanos explotaron las zonas superiores gossani-



Perforación de barrenos de realce con máquinas de columna en Tharsis (ppios. de siglo XX). Foto cedida por Fundación Riotinto.

zadas y cementadas de todas las masas del área de Tharsis. Aún hoy se pueden observar los restos de viejas galerías romanas en los taludes de la corta de *Filón Sur*.

No hubo otros trabajos mineros hasta que, a mediados del siglo XIX, *Ernesto Deligny* inició la expansión y explotación a gran escala de Tharsis, precursora de la gran minería contemporánea de la provincia.

Los comienzos fueron muy duros: Las labores se iniciaron en el Socavón de *La Sabina*, en la zona del *Filón Sur*, inicialmente sin éxito. En 1854 surgieron dificultades que a punto estuvieron de arruinar

el proyecto de Deligny, incluyendo una gran epidemia de cólera. La esperada y necesaria inyección económica no llegaría hasta 1855, cuando se constituyó, merced al espíritu emprendedor de este ingeniero francés, la *Cie. Des Mines de Cuivre de Huelva*, que inició la explotación a cielo abierto en el Este de *Filón Norte*.

Comenzó un período de intensísima actividad minera en los muchos yacimientos de los alrededores de Tharsis. Se laboreó *Poca Pringue*, rápidamente agotada, que tenía 250 m de corrida, con dos bolsas de 30 y 40 m de potencia y una zona central más estrecha y muy cobriza. En la mina de *La Lapilla* se explotó el gossan. En *La Esperanza* se beneficiaron 4,3 Mt de unas pizarras mineralizadas mediante su lixiviación con aguas de *Filón Sur*. *Almagrera* fue explotada en busca de cobre, laboreándose una masa de 250 m de longitud y 20 m de potencia, y sus minerales se transportaban por cable aéreo hasta el ferrocarril. En *Cantareras* se explotó una masa de 300 m de longitud por 30 m de potencia y que cubicaba 6 Mt. Por último, en la mina del *Lagunazo*, que se encuentra situada a 8 km al Norte, el mineral se arrancó por corta y contramina hasta una profundidad de 85 m. Recientes campañas de geofísica han puesto de manifiesto anomalías de interés en esta zona.

El 29 de abril de 1867 la compañía francesa arrendó la mina a una empresa escocesa, *The Tharsis Sulphur and Copper Company Limited*, que terminó por absorber a la entidad gala. Esta compañía llegó a explotar el 20% de la pirita cobriza de la provincia de Huelva a principios de

siglo, en competencia directa con la *Rio-Tinto Company Ltd*.

Durante la segunda década del siglo XX, debido al descenso generalizado en las leyes en cobre, y aunque el material era muy duro y tenía carácter explosivo durante el tratamiento de tostación, se comenzó a explotar la pirita por su contenido en azufre. Algunas de las partidas eran rechaza-

das, a causa de que al explotar en los hornos se ocasionaban en ellos deterioros de consideración que entorpecían la tostación. Para solucionarlo, se hizo un estudio práctico construyendo en la mina hornos

semejantes y tratando en ellos los minerales de cada una de las zonas de explotación. Ello permitió mezclar unos minerales con otros para rebajar el grado de explosibilidad a valores aceptables.

SIERRA BULLONES

El criadero de *Sierra Bullones*, de 500 m de longitud y 60 m de potencia, se laboreó por corta y contramina, la cual comunicaba con los pisos 10 y 14 de la contramina de *Filón Norte*. El método de explotación de interior era el de grandes cámaras con relleno, pero la importante cantidad de mineral que este método dejaba sin extraer en las llaves y macizos de protección, obligó, como en otras muchas explotaciones de la época, a iniciar la explotación a cielo abierto. A consecuencia de ello, en 1913 las

ABSTRACT

Regarding such an important metallogenetic province as it is the Iberian Pyrite Belt, holding 5.000 years of mining History and over 200 mines opened in different periods of time, it would be impossible to offer a thorough vision of all of them within a study like this. That is not the purpose anyway. They are described here those mines which have been in activity along the latest 20 years and which have supposed to be an essential reference of the IPB mining, or might be relevant in the coming future.

labores de desmonte de estéril forzaron a derribar una parte del antiguo poblado minero, iniciándose la construcción de otro, el actual Pueblo Nuevo.

El inicio de la corta permitió extraer totalmente el mineral intacto, así como recuperar el abandonado en las cámaras más superficiales. Dichas cámaras se abrían transversal y longitudinalmente a la corrida de la masa, alcanzándose en ellas dimensiones de 220 de largo, 50 m de altura y anchura de 30 m. La secuencia de extracción en una cámara era la siguiente; se minaba una primera faja de una altura de 3 m y realzando el techo de ésta se arrancaba la segunda, rellenándose ambas usando el relleno como piso. Sobre el suelo de la primera faja se construía, en las transversales, una galería central que debía fortificarse bien, pues tenía que soportar el peso del relleno, y se conservaba en buen estado mientras se trabajaba en el



Carro perforador en trabajos de taqueo en el fondo de la corta Filón Norte (Tharsis). Marzo de 1995. Foto: Gonzalo García.



Carro para perforación de barrenos en Filón Sur (Tharsis). Marzo de 1995. Foto: G. García.

resto de los realces. Para las cámaras longitudinales la galería central se construía dentro de un macizo de mineral que separaba los diferentes pisos.

El mineral se sacaba con “raspas” y se vertía en piqueras. Desde ellas se cargaba en vagones que lo llevaban hasta el embarque del pozo de extracción. El mineral de la corta se enviaba también a contramina por medio de pozos conocidos como “glory holes” y se extraía por el pozo hasta la trituración primaria, que estaba instalada en el mismo castillete.

La actual corta, situada a 250 m al oeste de la de *Filón Norte*, tiene 500 m de lon-

gitud, 300 m de anchura y 140 m de profundidad, alcanzada con 9 bancos de diferente altura. La extracción de mineral finalizó en 1968, manteniéndose actualmente solo labores de bombeo, tras estar en producción prácticamente sin interrupciones a lo largo de 100 años.

FILÓN NORTE

La mina de *Filón Norte* explota un depósito supergigante formado por la masa continúa *Sierra Bullones-Filón Norte-San Guillermo*. En su conjunto, el depósito tiene 1500 m de longitud y 80 m de espesor medio, que alcanza hasta los 120 m en la confluencia de las masas *San Guillermo* y *Filón Norte*. Los sulfuros masivos se han reconocido hasta los 500 m de profundidad, y el yacimiento permanece abierto hacia el Norte y al Noreste. Los recursos probados actuales se sitúan en 90 Mt, con contenidos medios del 47% de S, 2,7% de Zn + Pb, 0,7% de Cu, 35 gr/t de Ag y 1 gr/t de Au.

Como ya se ha indicado, fue la primera masa explotada en Tharsis a mediados del siglo pasado, por minería de interior y de modo similar a *Sierra Bullones*, aunque con cámaras de menores dimensiones. También fue rápidamente sustituido el método de explotación por el de cielo abierto y por idénticas razones.

En 1890 se produce la primera parada de *Filón Norte* por la baja ley en cobre. En 1916 se reiniciaría la explotación, pero en

1921 se produce una nueva interrupción de labores y se deja inundar, ralentizándose las labores de desmonte y la perforación del pozo maestro de extracción de mineral de la contramina.

Hasta principios de 1953 no se desagua la corta y se realizan labores de preparación e investigación, efectuándose grandes desmontes de estéril. En esta época es cuando se comienza a tener conocimiento de la existencia de la masa *San Guillermo*, bautizada así en honor de *Guillermo Rutherford*, gerente de aquel entonces. Para estas labores ya se utilizaron excavadoras eléctricas, realizándose el transporte de estéril con volquetes, y extrayéndose el mineral por un plano inclinado situado a Levante, de doble vía y pendiente del 50%, con una máquina de extracción de 400 HP. Las labores continuaron ininterrumpidamente desde este año.

Los pisos actuales de la corta tienen 8 m de altura, siendo el talud general en el lado Sur de 45°. El lado Norte, por el que discurre gran parte de la pista, presenta una inclinación de 35°. Las dimensiones actuales de la corta son: 900 m de longitud, anchura de 300 m y profundidad de 150 m. Por consideraciones económicas y estructurales los dos últimos años se ha trabajado solo en mineral, que se arranca por perforación y voladura. La carga se realiza con excavadora hidráulica sobre un equipo de transporte formado por dúmperes de 50 t. Estos transportan el mineral a las tolvas que alimentan dos líneas de trituración de 250 t/h. Cada línea consta de una trituradora de mandíbulas, seguida de un cono tipo estándar. El producto es enviado por ferrocarril propio (la compañía tiene concesión de uso de 72 vagones de 50 t y 6 locomotoras diesel) a Corrales, pueblo muy cercano a Huelva, donde existen dos etapas más de trituración, para ser enviado por último a la planta de ácido sulfúrico que *Fertiberia* tiene en el Polo Industrial onubense.

En el año 1970 la compañía pasó a denominarse *Compañía Española de Minas de Tharsis, S.A.* Tras la crisis del cobre de 1986, la compañía sufrió varias reestructuraciones y finalmente adoptó la fórmula de Sociedad Anónima Laboral en el año 1996, pasando a denominarse *Nueva Tharsis, S.A.L.*, y englobando las concesiones de la antigua *Compañía Española* en Tharsis y La Zarza.

La producción anual de la mina se si-



Excavadora eléctrica de cables, modelo BUCYRUS, trabajando en el fondo de la corta de Filón Norte (Tharsis). Marzo de 1995. Foto: G. García.



Panorámica aérea del yacimiento de Tharsis en septiembre de 1986. Al fondo de la imagen se pueden ver las instalaciones de trituración y clasificación de la pirita, además del embarque del F.C. Minero. Al pie de estas instalaciones, en segundo plano, la corta de Filón Norte; y en primer plano, la corta de Sierra Bullones. A su izquierda se ven las primeras edificaciones del pueblo de Tharsis. Foto: Paisajes Españoles, S.A.

tuaba en 1998-99 en torno a 500.000 t/año. Las cenizas, producto de la tostación de la pirita en *Fertiberia*, son transportadas por camión a Tharsis, donde se almacenan por su contenido en Cu, Au y Ag para su futuro eventual aprovechamiento.

Nueva Tharsis ha mantenido los suministros a *Fertiberia* hasta el año 2000, pero la firma de fertilizantes ha modificado este año su proceso para obtener el ácido a partir del azufre y no de la pirita, lo que ha conducido a la parada de las labores en la pirita al ser el único cliente de la mina. Ante esta perspectiva, la Gerencia de *Nueva Tharsis* estudia una serie de nuevos proyectos, como son la posible explotación de un stockwork cobalto-aurífero de reciente descubrimiento (1987), y la participación en el desarrollo de una planta piloto hidrometalúrgica para el tratamiento de sulfuros complejos.

FILÓN SUR

La zona de *Filón Sur*, con sus llamativas monteras de oxidación, ha sido siempre un objetivo deseado por los mineros. De estas monteras es conocido desde antiguo su alto contenido en metales preciosos, extrayéndose por fundición directa y amalgama con mercurio en épocas pasadas.

Es en 1937 cuando la *Tharsis Company* pone en funcionamiento las instalaciones para extraer el oro y la plata contenidos en el gossan. Esta planta continuó en funcionamiento hasta la década de los 60, siendo en aquellos años la ley media del gossan tratado de 2,9 g/t de Au y 35 g/t de Ag, y produciendo, hasta 1961, 2.420 kg de Au y 22.227 kg de Ag. El arranque del material se realizaba mediante excavadora o perforación y voladura, para posteriormente transportarlo mediante camiones a

la planta, donde se sometía a lixiviación dinámica con solución cianurada.

Posteriormente, y dado el alto valor del oro, la *Compañía Española* contempló de nuevo la posibilidad de su tratamiento. En 1987 se constituye la empresa *Filón Sur*, S.A. participada por la *Compañía Española* (51%) y la británica *Centurión* (49%), para el desarrollo del proyecto de explotación y tratamiento de todos los minerales producto de oxidación con contenidos en oro y plata, incluyendo escombreras y morrongos. Este último es el material proveniente de la tostación de las piritas cobrizas al aire libre, realizada en la segunda mitad del siglo pasado. El conjunto de reservas de estos materiales se cifró en 5.427.000 t con 1,82 g/t de Au y 38 g/t de Ag.

Se eligió un sencillo tratamiento estático consistente en la lixiviación en montones o eras, por riego con disolución cianu-



Filón Sur (Tharsis). Al fondo, la planta de cianuración que trabajó el oro de los gossans hasta 1963. En primer término, la corta Filón Sur (ya explotada). El agua tiene 400 gr de cobre por toneleda. Foto: Antonio Arribas.

rada, de un material triturado en seco a un tamaño menor de 8 mm. Las ventajas económicas de dicho método, frente a la lixiviación dinámica, se derivan de una menor inversión en equipos e infraestructura y bajos costes operativos, que compensan la menor recuperación de metales preciosos. Las nuevas instalaciones de tratamiento ese encuentran en el Paraje de la Tiesa, a unos 4 km al Este de Tharsis, y entraron en producción en 1988.

La forma de explotación es idéntica a la anterior etapa de Filón Sur. El gossan se transporta a la trituración primaria y se-

cundaria para posteriormente aglomerarse mediante adición de cal y cemento, acondicionándolo para su proceso en planta. Por medio de un sistema de cintas transportadoras, el aglomerado pasa a unas pilas que se construyen sobre terreno natural, aisladas de él mediante láminas de PVC.

Cada pila tiene una superficie de 200 x 25 m, con una altura de 4 m y el número de secciones tratadas es de 12 al año. En la operación normal, se dispone de tres secciones: la primera, agotada y en proceso de lavado; la segunda, bajo la segunda etapa de lixiviación y la tercera bajo la primera eta-

pa de lixiviación. El flujo del líquido de lixiviación va de la primera a la tercera pila. En esta última se obtiene la solución fértil. Para la recogida de soluciones se dispone de tres depósitos donde se almacenan la solución fértil (primera lixiviación), solución intermedia (segunda lixiviación y lavado) y solución estéril de la planta de extracción.

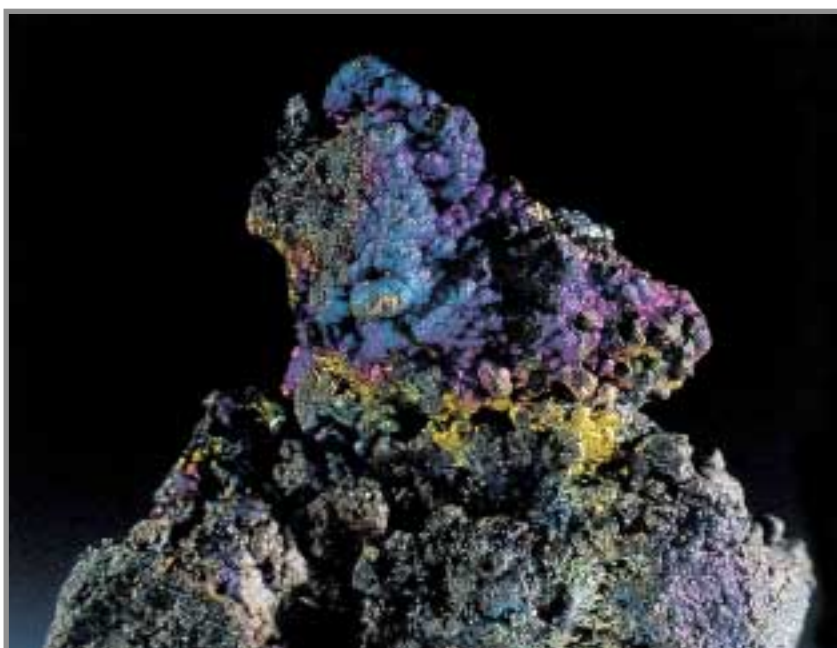
Para la extracción se emplea el proceso *Merrill-Crowe*, obteniéndose los metales preciosos en forma de lingote de bullón, con contenidos aproximados de 20% de Au, 72% de Ag y 6% de Cu. Se han obtenido producciones de 300 kg/año de oro y 1000 kg/año de plata, mediante tratamiento de 300.000 t/año de material con un contenido medio de 1,7 g/t de Au y 23 g/t de Ag.

La canadiense *Caledonia Mining Corporation* adquirió entre 1994 y 1995 la práctica totalidad de *Filón Sur*. La multinacional acometió un proceso de expansión con el fin de obtener una capacidad de tratamiento de 1.000.000 t/año. Esta expansión consiste en la construcción de una nueva planta de trituración con mayor capacidad, el incremento de tres a siete del número de pilas en operación normal y la ampliación de la planta de tratamiento, sin variar el método de extracción.

LA ZARZA

La mina de *La Zarza* se encuentra situada en el centro de la comarca de El An-dévalo, muy próxima al pueblo de Calañas. La masa de sulfuros existente es por tamaño, la más grande de la FPI y una de las mayores del mundo, tratándose de un cuerpo mineralizado de más de 150 Mt, con una longitud total de 2,9 km, una anchura máxima de 250 m y profundidades superiores a los 500 m en su zona de Levante.

Su explotación está constatada desde la antigüedad, habiéndose encontrado numerosos restos e indicios mineros de época romana y tartésica. Como muestra notoria de esta presencia, el cerro que preside los afloramientos, literalmente asaetado de socavones y pozos en los niveles jarosíticos, y que es conocido por los lugareños como Cabezo de los Silos. El nombre de silo proviene, según *Gonzalo Tarín*, de la denominación dada a los almacenes subterráneos de grano, y por extensión, es el nombre utilizado en la comarca para cualquier cavidad o construcción subterránea.



Ejemplar de goethita irisada recogido en el Filón Sur de Tharsis. Encuadre 90 mm. Colección: F. Muñoz Leiva. Foto: J. M. Sanchis.

No hay datos que indiquen la existencia de otros trabajos hasta el siglo XIX, excepto algunas solicitudes de concesiones realizadas en 1563 y 1574 sobre “dos vetas o filones” en el Cabezo de Los Silos, de las que no existen mas noticias. A mediados del siglo XIX aparece de nuevo un interés por explotar las minas. En 1853 el ingeniero francés *E. Deligny* obtuvo las concesiones de dos afloramientos de la misma masa: la zona Poniente de la masa de La Zarza, también llamada *Silos de Calañas*, y El Perrunal o *Segunda Silos de Calañas*, situada más al Oeste.

La *Cie. des Mines de Cuivre de Huelva* rehabilitó y amplió el tortuoso socavón romano de Los Cepos, iniciando la explotación de la zona Poniente de La Zarza, o *masa central*, mediante *cámaras y pilares*, obteniéndose producciones modestas hasta ser absorbida por *The Tharsis Sulphur and Copper Company* de Glasgow.

Hacia 1886, esta compañía, como hizo también en Tharsis, y por idénticas razones, afrontó la necesidad de mejorar y aumentar las producciones de mineral, sustituyendo el método de explotación por el de cielo abierto, y acometió el desmonte de la extensa cobertera del criadero, mientras se continuaba la explotación de interior. Los trabajos en exterior requirieron una gran cantidad de mano de obra, empleándose en los desmontes, según *Tarín*, entre 1.800 y 2.500 personas durante los primeros meses de la corta.

El hueco creado tiene forma de ocho, reduciéndose su anchura central por un estrechamiento de la masa y hacia finales de los años 20 ya tenía 160 m de profundidad y 850 m de longitud. Se limitó su apertura a la zona Poniente de la masa central, pues a Levante y debido a la presencia del Cabezo de Los Silos, el volumen de estériles a retirar resultó prohibitivo económicamente, iniciándose una labor subterránea paralela a partir del piso 5º, separada de la corta por un macizo de protección. Todos los materiales extraídos eran llevados mediante vagonetas hasta los embarques de los pozos abiertos en su cara Sur, que llevaban a superficie mediante jaulas, y de allí, mediante ferrocarril, hasta las escombreras o, en el caso del mineral, a la trituración.

Hoy en día, se puede reconocer esta corta en un estado de conservación excelente, lo que dice mucho del cuidado y calidad de los trabajos realizados en taludes y bermas, máxime teniendo en cuenta el



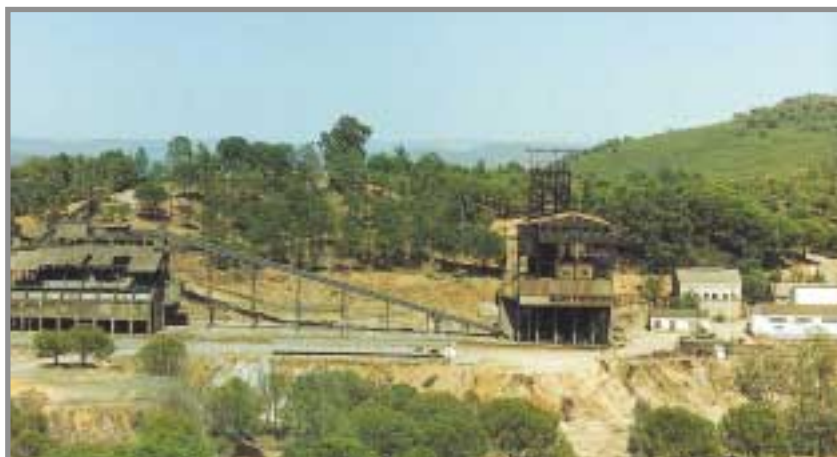
Cultivos experimentales de setas en el Piso 18 del Pozo N°5 de la mina La Zarza (Huelva). Diciembre de 1993. Foto: Gonzalo García.

tiempo transcurrido, en comparación a otras minas contemporáneas.

El método de interior empleado en la zona Este era similar al empleado por la Compañía en *Sierra Bullones*, pues el mineral se arrancaba mediante fajas laterales de una altura de 2,5 m, iniciadas desde una galería central, y rellenándose posteriormente el hueco generado con estériles. Este método permitía un aprovechamiento muy alto de la masa mineral, aplicándose hasta finales de los años 20 en los pisos 5º, 7º y 10º, cuan-

do se cambió por el método de *grandes cámaras por corte y relleno ascendente*.

En 1900, la compañía había vendido la concesión situada en el paraje conocido como *El Perrunal*, obtenida por *E. Deligny* en 1853, a la *Sociedad Francesa de Piratas de Huelva*, que inicio la explotación subterránea al año siguiente. El método minero era el mismo que se usó por debajo del piso 5º en La Zarza: *fajas horizontales ascendentes* con relleno total de los huecos. Esta mina llegó a extraer hasta



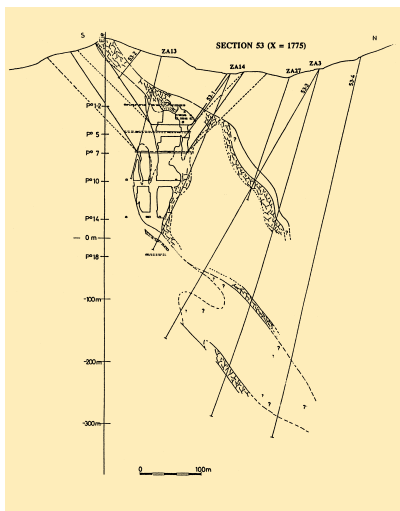
Vista general de las instalaciones y malacate de la mina La Zarza. Foto: Benito Caballero.



Estalactitas y estalagmitas de melanerita formadas en antiguas galerías de la mina La Zarza. Foto: Benito Caballero.

250.000 t en 1929, año de máxima actividad.

En 1949 se produjo un incendio que inhabilitó las labores de los pisos 4º y 5º, obligando a abandonar, según estimaciones de la época, del orden de 600.000 t de mineral para continuar solo en los pisos inferiores. En 1961, apenas se contaba con 200.000 t de reservas “a la vista” en el piso 6º, y además las exploraciones en profundidad resultaron negativas. La expansión hacia el Este tampoco era posible, al encontrarse con las concesiones de la *Cía de Tharsis*. La escasez de reservas llevó a la extracción de mineral en concesión ajena perteneciente a esta última compañía, por el que debieron abonar un canon de 3,15 chelines



Sección transversal de la mina La Zarza, donde se ven las cámaras explotadas entre los pisos 14 y 5, así como, la nueva investigación que permite ver la masa en profundidad. Tomado de SEIEMISA.



Vagonetas de mineral en labores de interior de la mina La Zarza. Foto: Benito Caballero.

por tonelada. Estas circunstancias condujeron al cierre de la mina de *El Perrunal* a mediados de los años sesenta, habiéndose extraído de ella alrededor de 8 Mt de pirita para la obtención de ácido sulfúrico.

Regresando a la explotación de *La Zarza*, a inicios de los años 30 se había cambiado el método de explotación en interior. El descubrimiento, como comenta *Pinedo*, “casual” de la masa Levante, al cortarla las labores de preparación del piso 14, aumentaba el ya enorme tamaño del yacimiento y la excelente calidad y competencia del mineral permitió que se pudiesen abrir enormes huecos de 30 metros de anchura y hasta 700 metros de longitud. Estas cámaras se proyectaban con macizos de protección de 10 m y 12,5 m de anchura. Los pilares corona que separaban dos pisos eran de 10 m de espesor, y en ellos se preparaban las galerías de transporte del mineral.

El mineral se arrancaba mediante voladuras de realce, en cortes de 3 metros, y era conducido, mediante “raspas” a través de pozos construidos en el propio relleno, hasta las piqueras de descarga en los niveles generales de cada piso. Desde allí, con vagones, era llevado hasta los pozos de que los sacaban al exterior. Todo el movimiento de personal y materiales en las cámaras se realizaba mediante pocillos (denominados “subidas” por los mineros), practicados en el propio relleno con entibación de madera.

En 1966 se inició una modernización total del método e infraestructuras de la

mina a partir del piso 18. Se instaló una trituración primaria en el pozo nº 5, llamado *Algaida*, que daba servicio a la *Masa Levante*, y se cambiaron las jaulas del pozo por skips. Se introdujeron palas cargadoras que fueron sustituyendo paulatinamente a las “raspas”. Las piqueras y los pozos de acceso a las cámaras dejaron de realizarse en el relleno, pasando a abrirse en los pilares entre cámaras. Por último, se aumentó la altura del corte de mineral de 3 a 4,5 metros. Estos cambios permitieron alcanzar producciones de 550.000 t anuales. En 1976 se finalizó la explotación de los pisos 10 y 14, que no habían sido modernizados, centrándose las labores en el piso 18.

Hacia 1972 comienza el lento declive de la mina. La ampliación de la *Corta de Filón Norte* en *Tharsis*, permitió cubrir las necesidades de la compañía de forma más económica y las producciones de *La Zarza*, que hasta ese momento era la principal explotación de la *Compañía Española*, comenzaron a bajar hasta situarse por debajo de las 400.000 t, hasta llegar a 200.000 t en 1988. En 1982 ya hubo una primera tentativa de cierre de la mina, pero la oposición de sindicatos y autoridades impidió el cierre.

El fuerte descenso del precio de la pirita en todo el mundo predecía un negro porvenir. Se barajaron algunos proyectos alternativos de viabilidad muy interesantes, no solo por parte de *Tharsis*, sino también por otras empresas y diferentes organismos oficiales, como la construcción de una gran planta de tratamiento de las cenizas de pirita en Huelva o la apertura de plantas de ácido en las proximidades de algunas explotaciones, pero nunca llegaron a realizarse. Ante la falta de concreción, el futuro de la explotación de pirita en *La Zarza* quedaba claro para los gestores de la compañía, y se redujeron las producciones y la plantilla mediante jubilaciones. El cierre definitivo de la mina tuvo lugar en el año 1991.

Se continuó con el desagüe de la mina y labores de mantenimiento del pozo nº 5 durante varios años más, hasta 1995, lo que permitió una serie de investigaciones de la masa desde su interior, cuyos resultados se comentan a continuación. En la actualidad, ya no existen estos trabajos de mantenimiento, siendo imposible el acceso a gran parte de la mina al encontrarse inundados los niveles inferiores.

El 90% de la masa mineral de *La Zarza* se puede considerar como pirita cruda, con bajas leyes en metales base como el cobre

(0,7%), plomo (0,6%) o zinc (1,5%), y alto contenido en azufre, empleándose en la fabricación de ácido sulfúrico. Sobre los minerales cobrizos, se obtuvo mineral durante el siglo pasado con leyes entre el 4% y el 7%, procedente generalmente de las zonas de alteración secundaria de la montera del yacimiento, pero ya en 1880, al entrar la explotación en la pirita primaria, las leyes no superaban el 1 ó 2%.

Mucho más importante actualmente, pues podría suponer una reapertura de la mina, es la existencia en la parte basal del yacimiento de zonas enriquecidas en varios metales, el *silicatado cuprífero*, llamado por los mineros “mineral de flotación”, denominado así por los altos contenidos en cobre (hasta el 5%) y con contenidos interesantes en plomo y zinc (medias de 2 a 4,5%), y el *silicatado aurífero*.

Ya en 1964, fecha de su descubrimiento, se estimaban unas reservas mínimas de 1,5 Mt repartidas entre los pisos 10 y 18. Debido a la situación de escasez de medios de la compañía, no fue hasta 1982 cuando se iniciaron labores de investigación de este mineral. Se descubrió que la masa mineral no terminaba por debajo del piso 18, el último explotado, sino que, por el contrario, continuaba en profundidad

hasta 233 m por debajo y hacia el Oeste de la zona minada.

En una segunda fase, la empresa *Chevron Resources* amplió las reservas de mineral *silicatado cuprífero* por debajo del piso 18 a 5,5 Mt con leyes medias de 1,64% en Cu, 1,1 g/t de Au y 30 g/t de Ag, además de contenidos apreciables en Zn y Pb. Más tarde, en 1993, un sondeo de superficie realizado por *Cominco*, cortó 80 metros de sulfuros a una profundidad aproximada de 450 m (el piso 18 se sitúa a unos 260 m de la superficie), lo que prolongaba 110 m la profundidad de la masa y 150 m más al Oeste. Los resultados arrojaban además zonas con aceptables leyes en polimetálicos (20 m con 5,25% en Zn), así como la continuidad del *silicatado* y la existencia de otros 60 Mt de mineral por debajo del piso 18.

MINAS DE RIOTINTO

Una buena mina no se agota nunca. Esta afirmación, discutible desde muchos aspectos, parece hacerse realidad en el caso de Riotinto, la mina más conocida de la faja pirítica y la más antigua del mundo todavía en explotación junto a las minas de cobre de Chipre. Situado a 80 km al nor-

deste de Huelva y a 90 km al noroeste de Sevilla, el yacimiento de *Riotinto* es la mayor concentración de sulfuros polimetálicos del mundo, tal y como lo demuestra la cifra de recursos acumulados a origen: más de 500 Mt de sulfuros masivos, de las que aproximadamente la quinta parte se gossanizaron enriqueciéndose en los elementos menos solubles como oro, plata, plomo, etc. Durante muchos años fueron las únicas minas en actividad del distrito, mientras que entre los siglos XIX y buena parte del XX ejercieron una importante influencia en el panorama minero internacional.

Los minerales extraídos en Riotinto, durante los últimos 150 años, han sido los sulfuros masivos, utilizándose para la obtención de cobre y azufre, las *cloritas* o stockwork cobrizo, situado a muro de los anteriores, para la obtención de cobre, y el gossan para la extracción de oro y plata. También, en los años veinte se extrajo mineral de hierro contenido en los gossan transportados del Alto de la Mesa. Durante las dos últimas décadas del siglo pasado y las primeras de éste, Riotinto fue líder en la producción y comercialización de piritas, mientras que hasta hace pocos años fue el primer productor europeo de cobre, plata y oro.



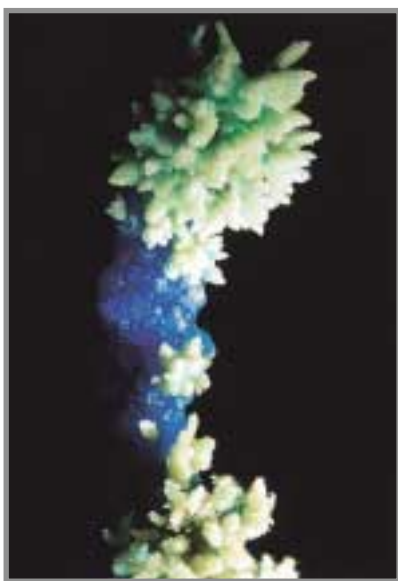
Agregado escamoso de cristales finamente tabulares y traslúcidos de romboclasa. Este mineral está bastante distribuido entre los sulfatos de neoformación del Pozo Alfredo. Encuadre de 17 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

DEPARTAMENTO DE FILÓN SUR

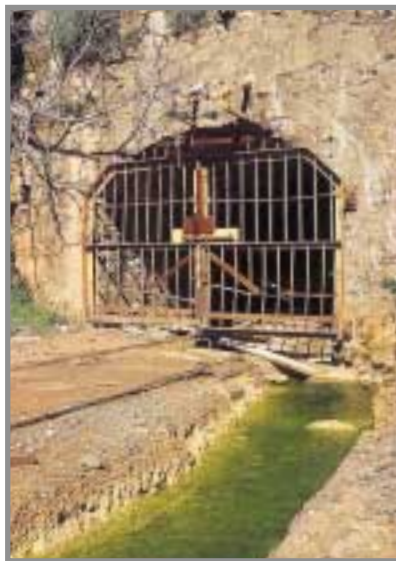
Antes de la llegada de los ingleses en 1873, las actividades mineras se centraron en el *Filón Sur* o *Filón Nerva*, situado en el flanco Sur del anticlinal de Ríotinto. La explotación se efectuó desde su rehabilitación en el siglo XVIII hasta mediados del XIX por minería subterránea siguiendo el clásico método de *huecos y pilares*.

A pesar de los esfuerzos de los ingenieros de minas del Estado, el Establecimiento nunca estuvo a la altura de sus posibilidades. Todas sus propuestas eran desoídas por los políticos de la época que demostraron estar carentes de visión empresarial, conformándose con el dinero fácil obtenido de las anualidades percibidas por la subcontratación de los trabajos a empresas cuyo único objetivo era sacar el máximo beneficio al menor coste.

Los minerales eran beneficiados por fundición en hornos de reverbero. También aprovecharon las aguas cobrizas recogidas en diferentes puntos como la *Cueva del Lago* y el *Socavón de San Roque*. A partir de 1839 se generalizará un nuevo sistema: la cementación artificial. Este método, propuesto por *Ignacio Goyanes*, se hará hegemónico durante el arriendo de las minas a la empresa del marqués *Gaspar de Remisa*, entre 1829 y 1849. En dicho periodo las minas serán esquilmas, centrándose primero la extracción en los minerales de mayor ley y



Caprichoso ejemplar encontrado en mina Alfredo formado por grupos de finos filamentos de halotrichita, con morfología en "abeto", sobre un agregado de cristales de calcantita. Encuadre de 65 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: P. Piña.



Salida de aguas freáticas del túnel 5, en Naya, por el 16 Piso de Alfredo. Marzo de 1996. Foto: G. García.

más tarde en los *vitriolos* que atestaban las galerías antiguas, por dar éstos mejor rendimiento en la cementación. Las calcinaciones crecieron rápidamente y la manta (vapores sulfurosos que se desprendían de las teleras y que en los días húmedos se condensaban formando una neblina asfixiante) empezó a ser conocida y temida por los habitantes de la cuenca. Al aumentar las calcinaciones se efectúa una tala masiva para obtener combustible que provocó la desertización de gran parte del territorio de las minas. Si a esto se añade que la sociedad del marqués no era nada clara a la hora de presentar sus cuentas de resultados a la Administración, no asombra que su contrato no se renovará tras su expiración en 1849.

Aprovechando el interés creciente en Europa por las piritas españolas, las minas son sacadas a subasta por el Estado en varias ocasiones sin encontrar comprador. Finalmente, el 14 de febrero de 1873 las minas son vendidas a un consorcio de banqueros europeos liderado por el escocés *Hugo Matheson*. Nace en Londres *The Rio Tinto Company Ltd. (R.T.C.)*. El contrato de compraventa es único en la historia de la minería española, pues la Compañía adquiere en propiedad el "suelo, sobresuelo y subsuelo" de las minas. Eso le otorgó plenos poderes sobre el término de Ríotinto, confiriendo a la explotación un carácter colonial que ha dejado una profunda huella en los habitantes de la comarca. Con la nueva empresa llegará a las minas el capital necesario para acometer las inversiones

precisas para hacer rentable la explotación. Muchas de las innovaciones técnicas realizadas por la Compañía ya fueron sugeridas en su día por las diferentes comisiones técnicas enviadas de las minas, pero todas cayeron en saco roto por la falta de sagacidad de los capitalistas españoles. Ese mismo año se inició la construcción de un ferrocarril que, siguiendo el curso del río Tinto, finalizaría en la capital de la provincia, alcanzando una longitud de 85 km. Allí los trenes de mineral llegaban a un muelle construido en la ría de Huelva.

El año de 1875 marcó el inicio de los trabajos de desmonte de la Corta Filón Sur y un año después se obtuvo la primera producción. El estéril y el mineral eran cargados manualmente en los vagones con un ejército de barcaleadores que lo transportaban en unos capachos o *barcales* de esparto que llevaban en equilibrio sobre sus cabezas.

En noviembre de 1876 entra en servicio el Túnel del 11 piso, que se empleará como socavón general para la extracción del mineral. En 1885 se ampliará hacia *San Dionisio*, alcanzando una longitud total de unos 4,5 km. Poco después de la apertura de este túnel se reanudó la actividad en la contramina, continuándose el laboreo por huecos y pilares pero racionalizando la explotación, manteniendo ahora la correspondencia entre pilares y fijando la altura de los pisos de la mina en 12,5 m, al igual que los bancos de la corta. Dos pozos daban servicio a los trabajos: el *Pozo Maestro* empleado para el zafre de los minerales hasta el túnel y el *Pozo Victoria*, que se utilizó como acceso a las labores.

Hacia 1900 el Filón Sur estaba preparado hasta el 22 piso y pronto comenzó a dar muestras de agotamiento. El método minero permitía recuperar tan solo el 20 %



Macra de compenetración de cristales de voltaita de 4 mm, con morfologías de cubo, octaedro y dodecaedro. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

del mineral, quedando el resto abandonado en los pilares y entrepisos, lo que obligaba a recurrir a recortes en los pilares corriendo el riesgo de debilitarlos en exceso, provocando peligrosos desplomes. Para mantener el ritmo de producción, se adoptó un nuevo método más costoso denominado de *corte columna* que consistía en la recuperación de los pilares y entrepisos por fajas o cortes ascendentes de unos 2 m de altura. Como paso previo se debían rellenar los huecos abiertos en la masa utilizando estériles de la corta. El método no dio buenos resultados. A medida que progresaban las excavaciones en los pisos superiores los rellenos fallaban provocando desplomes en las galerías situadas más abajo. Además la circulación de aire a través de los rellenos producía la combustión exotérmica del mineral, alcanzándose en los tajos temperaturas superiores a los 50° C y favoreciendo la generación de gases sulfurosos o *tufos*.

En 1908, una noche en que caía una lluvia torrencial sobre las minas, se produjo el deslizamiento de las pizarras del talud Sur de la corta provocando el hundimiento de las labores subterráneas que todavía no habían sido completamente rellenadas. El desplome alcanzó el 22 piso, que era entonces el fondo de la mina, y el incendio que se provocó a consecuencia de él afectó a otros sectores de los trabajos que no habían sido alcanzados por el hundimiento. El corrimiento de tierras afectó a 83 casas del antiguo pueblo de Ríotinto (Revista Minera, 1908) que será demolido parcialmente, permitiendo a la Compañía ampliar la explotación a cielo abierto de Filón Sur hacia Levante comenzándose el desmonte poco tiempo después de la catástrofe. A esta ampliación siguieron otras que condujeron al abandono y posterior desaparición definitiva del viejo pueblo de La Mina (Ríotinto). Para realojar a los damnificados la empresa minera construirá la barriada del Alto de la Mesa y, finalmente, una nueva población en El Valle que será el núcleo del actual Minas de Ríotinto. La normalidad en Filón Sur tardó en ser recuperada, obligando a intensificar los trabajos en otras áreas.

DEPARTAMENTO DE FILÓN NORTE

Filón Norte está formado por las mineralizaciones de *Mal Año*, *Dehesa*, *Salomón*, *Lago*, *Quebrantahuesos* y *Argama-*



Panorámica general del antiguo pueblo de Minas de Ríotinto (La Mina), ya desaparecido. Al fondo se ven los primeros bancos de la corta Filón Sur recortados sobre el Cerro Colorado (h. 1905). Foto cedida por Fotoestudio Mariló.



Cristales melados de baritina de contorno fusiforme, de 5 mm a 10 mm de longitud, procedentes del gossan de la zona de Quebrantahuesos (Filón Norte). Colección: S. Prado. Foto: J. M. Sanchis.

silla. Las explotaciones mineras más importantes en la antigüedad se desarrollaron aquí por tartessos, fenicios y romanos. La minería contemporánea en Filón Norte se inicia en 1880, con la apertura del Túnel de acceso a Filón Norte, en el piso 5, aprovechando el antiguo socavón romano de la *Huerta de la Cana*. El túnel se prolongó hacia *Salomón* y *Dehesa*, constituyendo finalmente una red de transporte de varios kilómetros que conectaban las minas con el ferrocarril exterior. El laboreo se realizó una vez más por *huecos* y *pilares*, pero ha-

cía 1894 se abandonará el método sustituyéndolo por el de cielo abierto. En 1889 se inicia el desmonte de la *Corta Salomón*. Los trabajos en *Corta Lago* comienzan unos años después. Hacia 1904, debido a la progresiva desaparición de la red de túneles por el avance de las cortas, se pone en funcionamiento un plano inclinado para ferrocarril construido en un área próxima llamada *Quebrantahuesos*.

La *Corta Dehesa* se inició en 1900 y sirvió como ensayo de lo que sería la futura operación a cielo abierto en *San Dionisio*, pues allí fue donde se introdujeron por vez primera las excavadoras a vapor Bucyrus-Erie que contribuirán decisivamente a mejorar los rendimientos de la corta. Estas primitivas máquinas necesitaban para su manejo de una cuadrilla de varios hombres y con cada una de ellas se obtenían rendimientos de unas 100 t/h, cifra asombrosa para la época (Salkield, 1987).

En 1926 se efectuó una prueba piloto para la obtención de un concentrado de cobre por flotación (Salkield, 1987). Ante los buenos resultados obtenidos se decidió la construcción de un concentrador en las cercanías de la aldea de Naya que estará operativo hacia 1930. En 1941 se inicia la explotación y el tratamiento a gran escala de las cloritas. Se vuelve a la minería subterránea, pero esta vez, la calidad de las rocas permite la excavación de huecos estables de grandes dimensiones. Así, en la *Contramina Salomón*, se emplea el nuevo método minero de *cámaras de banqueo* que permite alcanzar altas producciones a bajos costes.



Curiosa formación arborescente, constituida por finos filamentos de halotrichita sobre los que crecen pequeñas agrupaciones de cristales de copiapita (amarillo). Ejemplar recogido en el 33 Piso del Pozo Alfredo. Encuadre de 13 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

La extracción se unificará por el Túnel 11 mediante la puesta en servicio del Túnel Central, construido en 1882, que partía de *Filón Sur* y atravesaba *Cerro Colorado* en dirección Sur - Norte hasta *Dehesa*. A partir de 1955 se empleó la perforación de tiros largos en abanico, en detrimento de la realizada con martillo de mano. Esto supuso la adaptación del método sustituyendo los bancos por subniveles. Se ponen en explotación nuevas áreas como *Quebrantahuesos* (1951), las secciones centro y le-



Combinación ordenada de cristales prismáticos traslúcidos de botriógeno asociados a halotrichita. Encuadre de 6 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

vante de *Filón Sur* (1955) o la “sección clorita” de *San Dionisio* (1964 - 1972). También se amplía la mina de Salomón para explotar las cloritas situadas por debajo del 16 piso.

La minería en *Filón Norte* y *Quebrantahuesos* continuará ininterrumpidamente hasta 1970, en que se produce la suspensión de labores manteniendo el bombeo en el Pozo nº 5 para recuperar el cobre



Área de molienda del concentrador de Cerro Colorado. Esta área está constituida por tres etapas: Molienda de barras, de bolas y remolienda, complementadas con etapas de clasificación mediante baterías de hidrociclones (aparecen situadas sobre los molinos en la parte superior de la foto) para llegar a un tamaño de grano adecuado para el proceso de flotación. Hay cuatro lienas de molienda, tres de 250 t/h de capacidad cada una y la cuarta (que es la que aparece en primer término de la imagen) de aproximadamente el doble. Foto: F. Piña.

contenido en las aguas en la planta de cementación de *Cerro Colorado*. A mediados de la década de los ochenta se abandonó el bombeo.

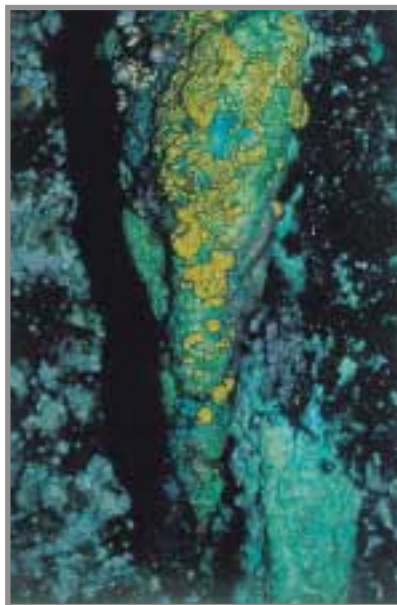
Tras la reapertura de la línea del cobre llevada a cabo por la empresa *Minas de Riotinto, S.A.L.* en 1997 se realizó una campaña de sondeos de investigación en el área de *Filón Norte* y *Quebrantahuesos* que puso de manifiesto la existencia de 30 Mt seguras con un 1% Cu. Debido a la crisis de los metales que se viene padeciendo desde hace más de un año, M.R.T. suspendió temporalmente la producción de cobre y el proyecto se detuvo, en espera de un cambio en la coyuntura económica que permita tanto continuar los sondeos como efectuar el desmonte. Por tratarse de un mineral de mayor ley que el de *Cerro Colorado*, el proyecto de *Quebrantahuesos* es muy interesante y podría garantizar la viabilidad de la minería en Riotinto a corto plazo.

DEPARTAMENTO DE SAN DIONISIO

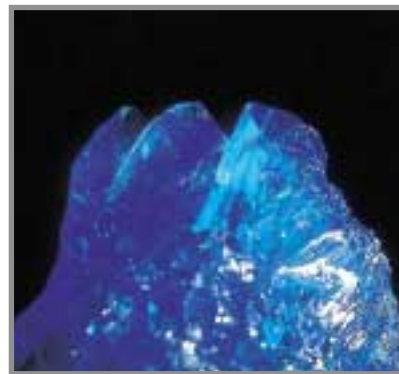
San Dionisio es la segunda mayor masa de pirritas ferrocobrizas del mundo después de la de *La Zarza* y quizás uno de los yacimientos sobre los que más se ha escrito. Geológicamente es una prolongación del *Filón Sur* hacia Poniente desplazada unos 150 m hacia el Norte por la acción de la falla Eduardo. La extracción se ha centrado en dos departamentos: por minería subterránea en el *Pozo Alfredo* y a cielo abierto en la impresionante *Corta Atalaya*.

La minería moderna en *San Dionisio* se inició hacia 1882, con la apertura de cinco pozos destinados a reconocer el criadero en toda su extensión: *Alberto*, *Eduardo*, *Alicia*, *San Dionisio* y *Alfonso*, todos bautizados con los nombres de miembros de la familia real inglesa salvo el pozo maestro, que tomó el nombre del cerro situado sobre la masa. Las enormes dimensiones del cuerpo mineralizado, sus elevadas leyes (particularmente en los pisos superiores) y el desastre de *Contramina Vieja* motivaron que *San Dionisio* se convirtiese en el departamento más importante de la empresa, llevándose a cabo un laboreo intensivo mediante *huecos* y *pilares*, de forma que a principios de siglo las labores habían alcanzado el 20 piso. A partir de aquí se introducirá el método de *corte y relleno ascendente*.

Las secciones se definieron cada 90 m



Estalactita de 60 cm de longitud fotografiada "in situ" en la cámara 18 del 33 Piso de mina Alfredo. En ella se pueden observar numerosos sulfatos ferrosos que dan al conjunto una espectacular gama de colores. Foto: F. Piña.



Cristales prismáticos de calcantita traslúcida encontrados en las labores de mina Alfredo. El tamaño de este tipo de cristales no suele superar los 2 cm, si bien, en ocasiones se forman masas cristalinas de tamaños decimétricos. Encuadre de 10 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

con la perforación de dos galerías que cortaban la masa transversalmente (*trincheras*) y una tercera que seguía el contacto norte con los pórfidos (*Zona Norte*). La sección creada se explotaba por tajos cortos (fajas transversales) cuando el terreno no era resistente y por *tajos largos* (fajas longitudinales) en las zonas donde la roca era fuerte o el cuerpo mineralizado tenía potencia suficiente. Los cortes tenían de 2 a 3 m de altura y tras cargar todo el mineral se rellenaban pasando

mediante realce al corte inmediatamente superior. Cada tres pisos existía una completa infraestructura de transporte situada al norte de la masa. El transporte interior se efectuaba en vagones remolcados por locomotoras eléctricas (*mulas mecánicas*) hasta los pozos de extracción por donde se elevaban al nivel del túnel.

La Compañía se planteaba desde hacía tiempo la introducción del cielo abierto en *San Dionisio*. Las producciones en *Filón Norte* comenzaban a bajar y *Filón Sur* continuaba rellenándose, con lo que el déficit de mineral no podía ser cubierto con la producción de la *Contramina San Dionisio* (Salkield, 1987). En 1906 ocurriría un hecho decisivo: "el 5 de abril, a las once de la noche, (en San Dionisio) se empe-



Aspecto de las aguas ácidas del fondo de la Corta Atalaya. Obsérvese las dos galerías, situadas en el Piso 23 que dan acceso mediante rampa al Pozo Alfredo. La Corta Atalaya, con unas dimensiones finales de 1.200 m x 900 m (ejes de la elipse) y una profundidad de 365 m, es actualmente la más profunda de Europa. Foto: G. García.



Vista del depósito de agua del 45 Piso del Pozo Alfredo. A la izquierda se puede observar la puerta que da paso a la Sala de Bombas. En ella, actualmente hay ubicadas 3 bombas, con una capacidad de bombeo cada una de 125 m³/h, a una profundidad de 111 m bajo el nivel del mar en Huelva. Foto: F. Piña.

zaron a oír ruidos alarmantes y a las cinco de la mañana se hubo de notar algún chineo en ciertos puntos; avisados los jefes mandaron desalojar rápidamente el



Puerta estanca de acero inoxidable que da acceso a la sala de bombas del 45 Piso de Alfredo. Esta sala se encuentra a una profundidad de 562 m y está aislada del resto de la mina por un muro de hormigón de 50 cm de espesor. Foto: Ángel Sanz.

campo de labor y a las ocho de la mañana tuvo lugar el desplome (...). La depresión formada en la superficie, base del cono hundido, tiene 300 metros de larga en el sentido del filón por 200 de ancha" (Revista Minera, 1906). El hundimiento de este enorme lentejón de pizarra llegó hasta el 19 piso. El rápido desalojo del personal evitó que hubiera que lamentar alguna víctima, aunque el *Pozo Alfonso* quedó arruinado por completo.

A partir del cráter formado se abriría la futura corta, iniciándose la explotación el 2 de abril de 1907. La buena experiencia con la maquinaria en el desmonte de *Corta Dehesa*, hace que se decida emplear este método aquí también. Para ello, se adquieren de segunda mano, cuatro excavadoras a vapor Bucyrus, que al parecer fueron utilizadas en las obras de construcción del Canal de Panamá (Avery, 1985). Un año después se compra una quinta excavadora. La perforación se realizará manualmente hasta la introducción del aire comprimido en 1912.

Debido a la rapidez con que se abría la corta, los antiguos pozos son sustituidos progresivamente con otros nuevos: *Roberto* y *Guillermo* son destinados al zafre del

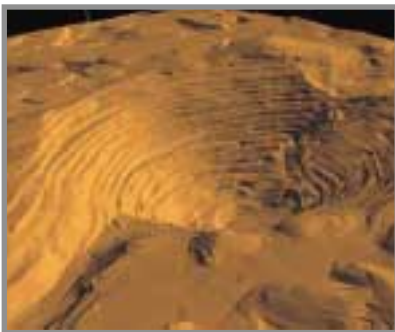
mineral. *Alfredo* sirvió de acceso al personal y a los materiales, y en los primeros años a la introducción de relleno para las labores de interior. El 11 piso pronto es rebasado y en 1912 se inicia la perforación del mayor túnel de transporte realizado en Riotinto. El Túnel 16 partirá de la aldea de Naya y atravesará las labores de Filón Sur y San Dionisio alcanzando una longitud total de 7,64 km. Seis años después finalizarán las obras, electrificándose completamente su trazado en 1924.

En 1913 las minas vivirán una de las huelgas más duras de su historia, durante la cual ocurrirá un desgraciado accidente: en la madrugada del 1 de noviembre se dio aviso de que el *Pozo Alicia*, principal acceso a la *Contramina San Dionisio*, estaba ardiendo. El pozo había sido perforado en la propia piritita, lo que favoreció el avance del fuego. Durante la inspección de los daños, fallecieron asfixiados cinco técnicos ingleses y dos capataces españoles. El rescate de los cuerpos se prolongó durante cuatro días, participando 35 hombres (Avery, 1985). Nunca se supo con certeza como se provocó el fuego, aunque las dos hipótesis más barajadas fueron el accidente o el sabotaje.

En las retinas de las gentes de la Cuenca Minera todavía están vivas las imágenes de la corta, ese gran hormigueo humano repleto de sonidos: los perforistas taladrando con sus martillos de aire comprimido los *barrenos*, *chulanas* y *zapateras* a diferentes alturas de los bancos; los *saneadores*, que a modo de expertos acróbatas se dejaban caer por los taludes sujetos por una simple cuerda que aguantaba un *pinche* para derribar con su *pértiga* las piedras que corrían peligro de desprenderse; o las majestuosas excavadoras a vapor cargando los largos trenes de mineral o estéril, que desaparecían por los túneles arrastrados por silbantes locomotoras. Las voladuras se efectuaban a horas fijas durante los relevos, siendo normalmente varias las pegas que se disparaban.

A partir de 1954, con la nueva compañía española, *Corta Atalaya* continuó explotándose a buen ritmo, ampliándose en varias ocasiones. Por debajo del 16 piso se modernizó el método de "*Glory Hole*" sustituyendo el arrastre con scrapers por tractores que empujaban el mineral a los pocillos situados en el fondo. El *Pozo Guillermo* fue remodelado y equipado para la extracción automática del mineral siendo una de las instalaciones más modernas en su tiempo. A partir de ahora sería conocido como *Pozo Conde de Benjumea*. La minería de piritas en *Alfredo* continuó sin variar apenas el método, pero modernizando los sistemas.

En 1970 la *C.E.M.R.T.* se fusionó con *Unión Española de Explosivos*, formando *Unión Explosivos Riotinto S.A. (E.R.T.)* y es, a mediados de esa década, cuando se vivió la gran modernización de la mina. En 1977 se produjo la fusión entre *Río Tinto Patiño (R.T.P.)* y *E.R.T.* cre-



Modelo digital topográfico de la superficie de Corta Atalaya. En la esquina inferior izquierda, puede observarse el "slot" que sirve de acceso a la rampa principal de la misma. Imagen cedida por Minas de Río Tinto, S.A.L.

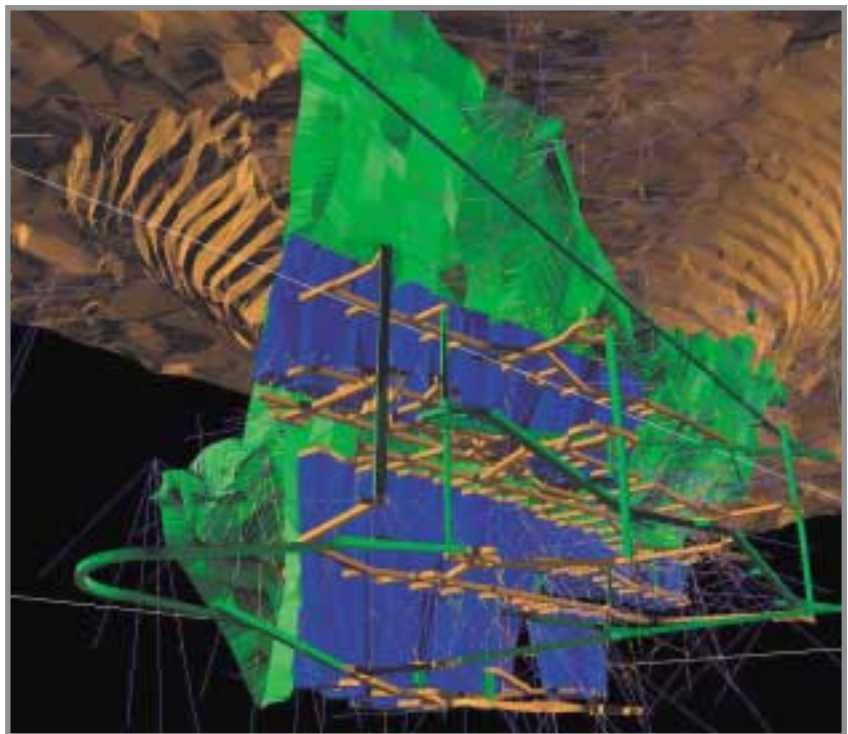


Vista aérea de las instalaciones de Minas de Riotinto en Marzo de 1986. En la parte superior izquierda se ve la corta de Cerro Colorado y las oficinas de minería. Debajo se observa el denominado "circo" (almacen de finos para cobre y gossan antes de la molienda). En la parte inferior se sitúa la planta de oro y en el centro, entre cipreses y eucaliptos, el cementerio, ubicado sobre una escombrera de gossan de aproximadamente 1 g/t de oro y 50 g/t de plata. Foto: Paisajes Españoles, S.A.

ándose una nueva compañía: *Río Tinto Minera S.A. (R.T.M.)*, en la que participaban *E.R.T.* (75%) y *R.T.Z.* (25%).

La pirita continuó explotándose subterráneamente hasta 1979 entre los pisos 31

y 33 por el método de *cámaras y pilares*, pero ya utilizando maquinaria pesada. En la clorita se introdujo el método de *corte y relleno*, que se empleó hasta 1979, en el que se abandonó al no alcanzar los ritmos



Modelo tridimensional de las labores subterráneas del Pozo Alfredo. Las cámaras de explotación de cloritas (azul), se ajustan al muro de la Masa San Dionisio (verde claro), pues entre las cloritas y los sulfuros polimetalícos existe la mayor abundancia de minerales cobrizos. Las labores de la mina, pozos y rampas de acceso (verde oscuro), así como las infraestructuras de cada piso (marrón), se han excavado a muro del yacimiento conocido. Los sondeos sirven para definir el yacimiento y la geometría del sistema de explotación. Imagen cedida por Minas de Río Tinto, S.A.L.



Taller del 32 Piso del Pozo Alfredo, donde está centralizado el mantenimiento de la mina y las oficinas de operación. Marzo de 1996. Foto: G. García.

de producción previstos (500.000 t/año). Paralelamente se acometió una gran campaña de investigación geológica para definir las reservas de cloritas en *San Dionisio*. El “Proyecto Cloritas” supuso la puesta en explotación de nuevas zo-

10 m de anchura a modo de columna de sostenimiento. Una vez agotada la cámara, los accesos a la misma se cerraban con muros de contención y el hueco se rellena-



Grupos esféricos de cristales de coquimbite con morfología en “piña” del 33 Piso del Pozo Alfredo. Cristal de 2 mm. Colección: Fernando Gómez y María A. Valera. Foto: P. Piña.

apertura de la mina de interior. En una primera fase se continuaría con la extracción de las cloritas y su tratamiento por flotación convencional o en columna. Después se sumarían los complejos existentes en *San Dionisio* que se tratarían en una futura *Planta Hidrometalúrgica* para producir cobre, plomo, zinc y plata.



Voladura en Cerro Colorado. Foto: Fernando Palero.



nas del yacimiento, fijando un nuevo fondo para la *Mina Alfredo* en el 45 piso (562 m de profundidad), se amplió el sistema de cintas transportadoras hasta la superficie, en detrimento del transporte ferroviario por el Túnel 16, que se cerró al tránsito de trenes poco después. En 1984, tras más de un siglo de historia, fue clausurada la línea del ferrocarril minero de Riotinto.

El método de explotación también cambió, introduciéndose el laboreo en *grandes cámaras*, que consiste en la apertura por fases, de cámaras de 20 x 40 m en las que se perfora y se vuela de una sola vez un único banco de 75 m de altura. Entre cada dos cámaras se dejaba un pilar de

ba con una mezcla de estériles del concentrador de cobre y cemento en proporciones variables, drenando el exceso de agua para evitar sobrecargas en los muros.

En 1981 se pone en marcha la nueva mina con un ritmo previsto de 700.000 t/año. Pero en 1986 la crisis del cobre afectará seriamente a *R.T.M.* y en febrero de 1987 se tomará la decisión de suspender las labores, quedando la *Mina Alfredo* en mantenimiento. En *Corta Atalaya* se arrancó pirita esporádicamente hasta octubre de 1991, en que se vendió el último envío de 100.000 t de pirita cruda a Fertiberia (Huelva). El hueco final tiene una profundidad de 365 m, y respectivamente 1.200 y 900 m para los ejes mayor y menor de la elipse.

Minas de Río Tinto, S.A.L. tiene como uno de sus objetivos a medio plazo la rea-

CERRO COLORADO

En 1964 se constituyó *Río Tinto Patiño (R.T.P.)* con un capital social distribuido entre la *C.E.M.R.T.* (55 %), *The Patiño Mining Corporation* (40 %) y *The Rio Tinto Zinc Corporation* (5 %). El objetivo de la nueva sociedad era la investigación y explotación del stockwork de baja ley existente en *Cerro Colorado* y la construcción de una fundición y refinería de cobre electrolítico en Huelva.

Los sondeos comenzaron ese mismo año y dos años después se habían estimado unas reservas iniciales de 39 Mt de mineral con un 0,56 % en cobre a las que hay que añadir otros 20 Mt de gossan con contenidos de 1 g/t en oro y unos 45 g/t en plata. Pronto se comienza el montaje de las nuevas instalaciones y maquinaria para la futura corta. Durante la ejecución del des-

monte, el gossan se clasificaba en función de su ley en oro, siendo almacenado en stocks el mayor de 1,5 g/t Au y en vacies el de ley inferior, en espera de la finalización de los estudios técnicos que se estaban realizando para demostrar la viabilidad de su aprovechamiento.

En 1969 arrancó el nuevo concentrador de cobre en *Cerro Colorado* con una capacidad de 3 Mt/año, que se duplicó en 1981. Los minerales se tratan por un esquema convencional de trituración, molienda y flotación. Un año después se finalizó la nueva fundición construida en el Polo Químico de la capital onubense, con una capacidad de producción anual de 40.000 t de cátodos de cobre y 165.000 t de ácido sulfúrico, cerrándose la *Fundición Mina* en Ríotinto. Demostrada la viabilidad de la



Excavadora PH 371 en Cerro Colorado. Marzo de 1996. Foto: G. García.

Paralelamente, se sucedieron con rapidez las empresas que se hicieron cargo de la mina: a mediados de los ochenta *Rio Tinto Zinc Corp.* vendió su participación en *R.T.M.* Casi de forma simultánea, *Ex-*

multinacional americana *Freeport Mac Moran, Inc.*, que se segregó *R.T.M.* en una serie de sociedades entre las que están *Rio Tinto Metal* que comprendía las actividades metalúrgicas y *Minas de Rio Tinto S.A.* que abarcaba las mineras.

La dirección de las minas presentó en noviembre de 1993 un plan de cierre llamado *Albor*, que contemplaba el cese de las actividades mineras en dos años, tras el agotamiento de las reservas de mineral de oro y plata. Como alternativa, los trabajadores presentaron el *Plan Esquila*, que perseguía la continuidad de la minería en Ríotinto en el contexto de una economía social, siendo la base para una diversificación de actividades en el futuro. Tras varios meses



obtención de oro y plata del gossan, la planta de oro empieza su actividad en 1971, con una capacidad de tratamiento inicial de 1.452.000 t/año que fue ampliándose progresivamente hasta alcanzar a finales de los ochenta la cifra de 6 Mt/año.

En 1986, la caída de las cotizaciones del cobre motivó la parada de la línea de producción de este metal, decisión que fue muy contestada socialmente. Entre 1988 y 1990 se efectuó una breve reapertura (18 meses) de la línea del cobre llevada a cabo con criterios poco mineros, pues se concentró la explotación en las menas de mayor ley y menores ratios. Los esfuerzos productivos se concentraron cada vez más en el gossan, que pasó de ser el complemento para aguantar las horas bajas del cobre, a ser un modo de obtener grandes beneficios. En los primeros 90 se llegaron a pasar por la planta del orden de 19.000 t/día de gossan, lo que condujo a un rápido agotamiento de las reservas.

plosivos Rio Tinto se fusionó con la sociedad química Cros, formando el grupo empresarial *Ercros*. En 1993, la mayoría del capital social de *R.T.M.* es adquirido por la

de intensas negociaciones, el 31 de julio de 1995 se firmó un contrato de compraventa por el que las minas eran vendidas a los trabajadores al precio simbólico de una peseta por acción, formándose *Minas de Ríotinto, Sociedad Anónima Laboral*.



Inundación de Cerro Colorado en noviembre de 1997. El agua inundó el banco 304 (apertura) y el 316 (de 0,5m a 1m). Foto: Iván Carrasco.

Cerro Colorado se explota en bancos verticales de 10 y 12 metros de altura. La perforación se efectúa con cuatro máquinas rotativas de 9". Para la carga y transporte se dispone de una flota de tres excavadoras eléctricas, con cazos de 25 t de capacidad, dos palas cargadoras de 35 t y nueve volquetes de 175 t, además de la necesaria maquinaria de servicios. Las operaciones son controladas en tiempo real mediante el empleo de sistemas informáticos y comunicaciones por radio. El mineral es transportado a una trituradora giratoria con una capacidad horaria de 2.000 t.

El arranque de la mina y la planta se efectuó en un tiempo record de 57 días. Se adquirieron nuevos equipos de carga y transporte que permitían trabajar la mina a un ritmo de 7,5 Mt/año y se realizaron una serie de inversiones en el concentrador de forma que se pasaba de producir concentrados del 20 % al 24 % de ley en cobre. Un año después ya se habían producido 80.000 t de concentrado a unos costes competitivos en el mercado internacional.

En septiembre de 1997 se acometió una fuerte inversión para aumentar el ritmo de producción a 10 Mt/año. Desgraciadamente, el precio del cobre empezaba a mostrar debilidad, desplomándose su cotización en pocos meses a precios que no se conocían desde la crisis de 1986. Un año después, se paró la producción mientras no se recuperaran los precios del metal, limitándose las labores al

gossan y a la recuperación de cáscara de cobre por cementación.

M.R.T., S.A.L. ha prolongado la vida de la planta de oro durante más de tres años, mediante la minería de restos de áreas ya trabajadas por *R.T.M.* y de ciertas reservas marginales. En los últimos dos años y medio, ha tenido especial importancia la recuperación de los gossanes de *La Poderosa*, una pequeña mina situada a unos 8 km, al Norte de Riotinto. El futuro inmediato de la planta de oro de Riotinto es su transformación en una planta de aprovechamiento de los metales preciosos contenidos en los estériles mineros de otras épocas que podrían ser susceptibles de tratamiento, como son los terreros de Tejonera, cercanos a Nerva, reduciendo a la par el impacto medioambiental provocado por las antiguas labores mineras.

PLANES-SAN ANTONIO

En Planes se conocían indicios desde antiguo, pues en la zona existían labores romanas (*Pozos Amargos*), pero los primeros datos concretos no se obtuvieron hasta 1910. La minería se inició en 1922 mediante *realces por tajos cortos*. En los primeros diez años se extrajeron 950.000 t de mineral y 85.000 t de pórfidos cobrizos más una cantidad no determinada de minerales argentíferos con leyes del 10% Pb, entre 1 y 1,3 kg/t Ag y de 20 a 33 g/t Au. Como dato curioso, parece que una mues-

tra de este material alcanzó el increíble valor de 6,8 kg/t Au (Salkield, 1983). La intensidad de esta pequeña explotación se explica teniendo en cuenta la gran riqueza del mineral extraído, constituido en su mayor parte por *negrilla* (calcosina) y cobrizo con leyes superiores al 5 % Cu. El descenso de las leyes provocó el cese de las actividades en 1954, habiéndose extraído un total de 2,2 Mt.

La cercana Masa San Antonio fue descubierta por gravimetría en noviembre de 1960 y se comenzó a preparar durante los últimos años de esa década. Se decidió emplear en ella el método de *subniveles en dos pasadas*, es decir, la explotación del mineral excavando cámaras de unos 30 m de altura que se rellenarían después (primera pasada) y la recuperación de los pilares de mineral abandonados entre las cámaras una vez consolidado el relleno (segunda pasada). La mina estaba diseñada para un ritmo de producción de 700.000 t/año y se concibió enteramente como una mina de pirita, pero, a mediados de los años 70, debido a la crisis del mercado de pirita cruda, se interrumpió la extracción del mineral antes del inicio de la producción en sus subniveles. La mina quedó en mantenimiento hasta 1981, cuando se desmontó el sistema de bombas permitiéndose la inundación de las labores.

El verdadero potencial del denominado *Complejo Planes-San Antonio* reside en los sulfuros complejos, al existir unas reservas demostradas de 6.670.000 t con 1,67 % Cu, 1,07 % Pb, 2,13 % Zn, 0,6 g/t Au y 64,3 g/t Ag, considerando además que la masa no está cerrada y quedando pendiente la investigación tanto de la prolongación al noreste del masivo como del stockwork infrayacente que posee, ligado a la antigua *masa Planes*.

MINAS DE AZNALCOLLAR

Los yacimientos situados en las cercanías de la localidad sevillana de Aznalcóllar estaban divididos en tres grupos: *Silillos-Cuchichón-Higuereta* al Este del pueblo, *Caridad* al Norte, y otros indicios menores (*Zarcita, Adriano, Tintillo*) más alejados. Estas mineralizaciones fueron laboreadas por los romanos, de los que aparecen varios escoriales y minados en la zona, además de los restos de un acueducto que llegaba hasta Itálica cruzando las minas.



Área de flotación de cobre en el Concentrador de Cerro Colorado. Tras la fase de molienda y clasificación, la pulpa es distribuida por un repartidor de carga (derecha, en primer término) entre cuatro líneas de "flotación desbaste" (centro de la imagen) en la que separan todos los sulfuros de la ganga. El flotado, tras una remolienda para separar los sulfuros de cobre del resto de sulfuros, pasa a una segunda fase denominada "flotación selectiva", de la que resulta el concentrado de cobre. Foto: F. Piña.



Panorámica aérea de las explotaciones de Boliden - Apirsa en Aznalcóllar. En primer término, a la derecha, se observa la corta de Aznalcóllar (inactiva desde septiembre de 1996). En la parte superior se sitúa la corta de Los Frailes. Esta foto está tomada en abril de 1999, un año después de la rotura de la balsa de finos de lavadero. En esta fecha, tras la parada de labores durante un año, se reinició la actividad minera en la corta de Los Frailes. Foto: Paisajes Españoles, S.A.

En la segunda mitad del siglo XIX, la mina *Caridad* estaba arrendada a la *Compañía Gaditana de Minas S.A.* Esta empresa explotaba las zonas ricas en mineral cobrizo desde 1875, y también beneficiaba por cementación piritas con 2% a 2,5% en Cu. En 1916, se cedieron los derechos por diez años a la *Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya*, que constituyó para la explotación de la mina, la *Compañía Minera Sevillana*. Al vencer el plazo del acuerdo, en 1926, y al no renovarse este, la mina quedó definitivamente parada. La sociedad inglesa *The Seville Sulphur & Copper Co. Ltd* la adquirió, pero nunca efectuó trabajos en la misma, puesto que centraba todas sus actividades en Cuchichón. En total, Pinedo estima en 1 Mt la producción total de *Caridad* hasta su cierre.

Hasta 1876 no se iniciaron labores modernas en *Cuchichón*, aunque las minas del grupo fueron denunciadas mucho antes (1853). Estas fueron adquiridas por la *Seville Sulphur* que benefició principalmente la zona cobrizo (con leyes del 6 al 7 % en Cu) por el método clásico de cáma-

ras y pilares. Desde principios de siglo hasta 1921 explotó también *Silillos* e *Higuera*. En 1929 se implantaba en las minas el método de fajas horizontales con relleno total, que tan buenos resultados estaba dando en otras minas, y centrándose la actividad en la explotación de pirita para obtener azufre.

Desde 1931, los desordenes sociales de la época, los problemas comerciales y finalmente la Guerra Civil causaron enormes trabas a la continuación de las labores, que se suspendieron en 1939, con el comienzo de la II Guerra Mundial, las explotaciones se inundaron. A partir de entonces y hasta el cierre total, los únicos ingresos de estas provinieron de la venta de cargamentos aislados de pirita y cáscara de cobre, obtenida por cementación y posterior canalero de las aguas de mina.

Las altas leyes en polimetálicos llamaron la atención de la *Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya, S.A.* que, tras llegar a un acuerdo de compra con la sociedad inglesa, se hizo cargo de las minas y comenzó a desaguarlas en 1952, abordando

su explotación dos años después. Hasta la toma de posesión de las minas por parte de la compañía *Andaluza de Piritas S.A.*, en 1960, el grupo *Silillos-Cuchichón-Higuera* había producido ya 2,5 Mt de piritas.

A principios de los años 60 solo permanecían abiertos los dos pozos de *Cuchichón*: *Roberto* (de 125 m de profundidad, para introducir los rellenos y ventilación) y *Santiago* (de 205 m, para extracción de mineral), comunicados entre sí por el piso 10 de la explotación. No se trabajaban los niveles superiores, que correspondían a las antiguas labores de cámaras y pilares. El yacimiento se explotaba en ese momento por corte ascendente con relleno, en cámaras de 40 x 40 metros y dejando pilares corona de 10 m entre pisos.

Durante estos años se renovaron la trituración y maquinaria, adquiriendo locomotoras de gasoil y palas cargadoras de aire comprimido, que supuso a la empresa una fuerte inversión. La necesidad de recuperarla cuanto antes provocó un retraso en el relleno, además de un laboreo intensivo de cámaras de los pisos 11 y 12. Pro-



Ferrocarril minero de la mina Caridad de Aznalcóllar, destinado al transporte de pirita cobriza. Este ferrocarril, que cubría el trayecto Aznalcóllar - Camas, era propiedad de la Sociedad Gaditana de Minas. Foto cedida por Miguel Gómez.

bablemente a causa de esto, en la mañana del 10 de octubre de 1968 se hundió un resaca en el piso 11, que afectó a los pisos superiores y cortó la comunicación entre los dos pozos. No hubo que lamentar víctimas, pues los 27 mineros que se encontraban en ese momento en el interior fueron evacuados por el compartimento de escalas del pozo Santiago. Aún hay quien se refiere a este episodio como “el hundimiento del Pozo Santiago”, aunque el pozo solo sufrió daños menores en la mampostería de su zona superior. Se recuperó posteriormente el enlace entre ambos pozos mediante una galería y se reanudaron las labores en el piso 12 (a 200 m de



Estado de la corta de Aznalcóllar en febrero de 1999, con los lodos depositados en su interior. Al fondo se puede observar el vacio de esteriles de la corta de Los Frailes, aunque actualmente se está empleando como balsa de los esteriles de la planta de concentración. Foto: Miguel Checa.

profundidad), que por su situación no resultó afectado por el hundimiento.

CORTA AZNALCÓLLAR

El piso 12 de *Cuchichón* sería el último en explotarse, ya que el siguiente tenía un reducido desarrollo. Además, a partir de 1970 se realizaron una serie de estudios e investigaciones que demostraron que las masas de las minas *Cuchichón*, *Higuereta* y *Silillos* se unían en profundidad constituyendo un solo yacimiento.

El nuevo proyecto de explotación que surgió de estas investigaciones preveía extraer de esa única masa un total de 90 Mt de mineral, repartido aproximadamente al 50% entre pirita compleja (43 Mt con leyes de 0,44% Cu, 1,74% Pb, 3,33% Zn, 67 g/t Ag y 1 g/t Au) y piroclastos cupríferos (47 Mt con leyes de 0,58% Cu, 0,40% Zn y 10 g/t Ag). Para su extracción se diseñó una corta de forma elíptica, con un eje mayor de 1.500 m y un eje menor de 700 m, que llegaría a tener 280 m de profundidad. Los bancos tenían 15 m de altura, dando una inclinación de 35° para el muro de la masa y 47° para el techo. Las pistas contaban con 25 m de anchura y una pendiente máxima del 8%.

La operación minera se inició en 1975, siendo en esa época *APIRSA* propiedad del Banco Central, alcanzándose la plena producción (2 Mt anuales) en 1979. El mineral se arrancaba mediante perforación de gran diámetro y voladura, siendo cargado por excavadoras eléctricas y transportado para su tratamiento mediante volquetes mineros de gran capacidad.

En 1987, la multinacional sueca *Boli-*

den compró al Banco Central la mina de Aznalcóllar, aún cuando en esa época, las reservas explotables conocidas solo permitían las operaciones mineras hasta 1992. Las campañas de exploración impulsadas por aquella descubrieron nuevas reservas en la zona oriental de la corta (alrededor de 5,5 Mt), que aumentaron su expectativa de vida hasta 1996. Estas nuevas reservas permitieron afrontar las investigaciones y labores de preparación de la masa de *Los Frailes* sin que existiese un periodo de inactividad minera en Aznalcóllar. La explotación de la corta finalizó en septiembre de 1996, quedando como depósito de los esteriles generados en *Los Frailes*.

CORTA LOS FRAILES

La masa de sulfuros de *Los Frailes* se encuentra a sólo unos cientos de metros de la Corta Aznalcóllar. Se trata de uno de los pocos yacimientos de la Faja Pirítica no descubierto por los romanos, debido a la ausencia de afloramientos en superficie. Esta mina debe su nombre a un monasterio que existía en el área que posteriormente ocuparía la corta, y que fue fundado por *D. Gaspar de Guzmán*, Duque de Olivares.

Las investigaciones realizadas en *Los Frailes* indicaban la existencia de un depósito similar al de *Aznalcóllar* en cuanto a leyes y a secuencia geológica en la que encajaba. La secuencia vulcano-sedimentaria en que se sitúa el yacimiento está recubierta por materiales del Mioceno y superficialmente (hasta los 150 m) presentaba potencias poco importantes, lo que llevó a una inicial evaluación negativa del yacimiento. Sin embargo, se decidió acometer una serie de sondeos para comprobar si, al ser similares ambos yacimientos, el de *Los Frailes* presentaba los mismos bandeados de mineral rico en polimetálico que se daban en *Corta Aznalcóllar*.

La respuesta a esta cuestión fue positiva, y como consecuencia de los sondeos, en 1989 se había definido un cuerpo de pirita masiva de aproximadamente 800 m de corrida, 200-300 m de extensión y profundidades entre 80 y 350 m, inclinado 30-45° al N, y abierto en profundidad hacia el Oeste, con potencias variables y zonas de alta ley a techo y muro.

Los Frailes es un yacimiento de 71 Mt de sulfuros polimetálicos, con leyes medias de 3,86% en Zn, 2,18% en Pb y 0,34% en Cu, además de 60 g/t de Ag, con

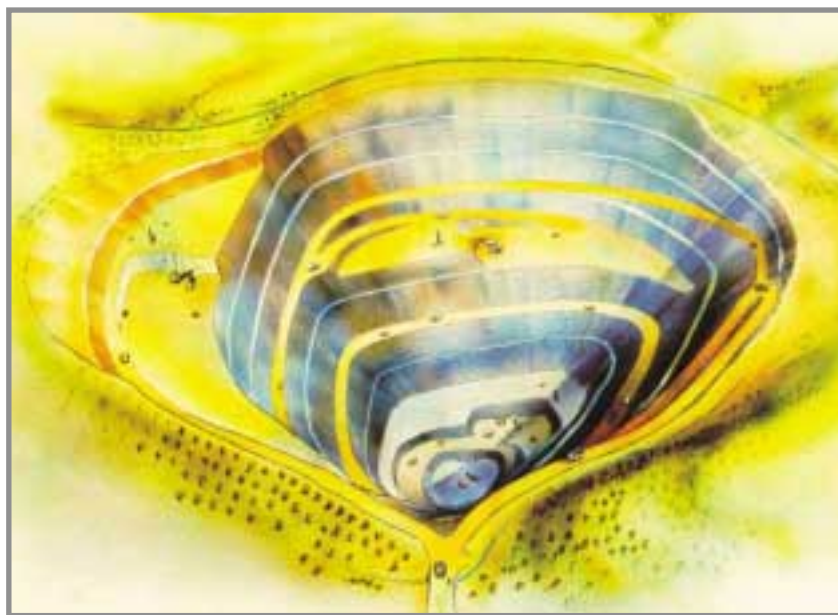
posibilidades de ser explotado, como el de *Corta Aznalcóllar*, a cielo abierto, y de utilizar, gracias a su extrema cercanía con la antigua corta y planta de tratamiento, todas sus infraestructuras.

Se diseñó una corta con forma elíptica de 1.400 m de eje mayor, 900 m de eje menor y 350 m de profundidad. Esta corta, que se encuentra en su segunda fase de desarrollo, de un total de cinco, tendrá bancos de 15 m de altura y bermas de 11,5 m cada dos bancos. Las pistas de rodadura pasan a ser de 30 m de anchura, para permitir el paso de maquinaria de gran tamaño. El arranque del mineral se lleva a cabo mediante perforación a gran diámetro y voladura. La mayor de las voladuras disparadas en la mina es también la mayor realizada en Europa, y tuvo lugar en junio de 1996. Para ello se perforaron 630 barrenos, dispuestos en una malla de 9,2 (7 m, empleándose 433.000 kg de explosivos para volar 1.650.000 t de roca.

Paralelamente a la apertura de la nueva mina, se inició la modernización completa del parque de maquinaria mediante la adquisición de nuevos equipos mineros de mayor capacidad, y por último, la ampliación y modernización de la planta de tratamiento de mineral, para pasar de una producción anual de 2 a 4 Mt de mineral.

La actual flota de maquinaria comprende 16 volquetes mineros de 218 t de capacidad, 4 perforadoras rotativas con inyección de agua y 2 con inyección de aire, 2 excavadoras eléctricas y una hidráulica. También se emplea una pala cargadora de 24 m³. La gestión y control de estos equipos, y de la operación minera en general se llevan a cabo en tiempo real, mediante sistemas integrados de telecomunicaciones que incluyen la localización geográfica de los equipos mediante satélites (GPS).

Adaptar el concentrador a la nueva producción de *Los Frailes* supuso realizar cambios importantes, entre los que destacan la introducción de equipos de flotación de mayor capacidad, filtros prensa y molienda autógena. El mineral es triturado para posteriormente ser introducido en el circuito de molienda, que consta de dos líneas paralelas compuestas por un molino autógeno y dos de pebbles (guijarros). Cada línea puede moler aproximadamente 250 t/h para obtener un producto que es enviado al circuito de flotación. Con todas estas reformas se obtendrán 30.000, 90.000 y



Interpretación artística de una de las fases de explotación de la mina Los Frailes (Aznalcóllar). Dibujo cedido por Boliden - Apirsa.

240.000 t anuales de concentrados de cobre, plomo y zinc respectivamente.

El desmonte de la nueva corta de *Los Frailes* se inició en octubre de 1995, entrando en producción a finales de 1996 para alcanzar los 4 Mt anuales al año siguiente, pero la conocida rotura de la balsa de estériles en abril del 98 y el

consiguiente derrame de lodos al cauce del río Guadiamar provocó, además de una tormenta política y legal, un parón generalizado de las labores durante todo un año, al paralizar la mina y la planta de tratamiento ante la imposibilidad de almacenar los estériles generados en un lugar apropiado. Durante este tiempo ha sido nece-

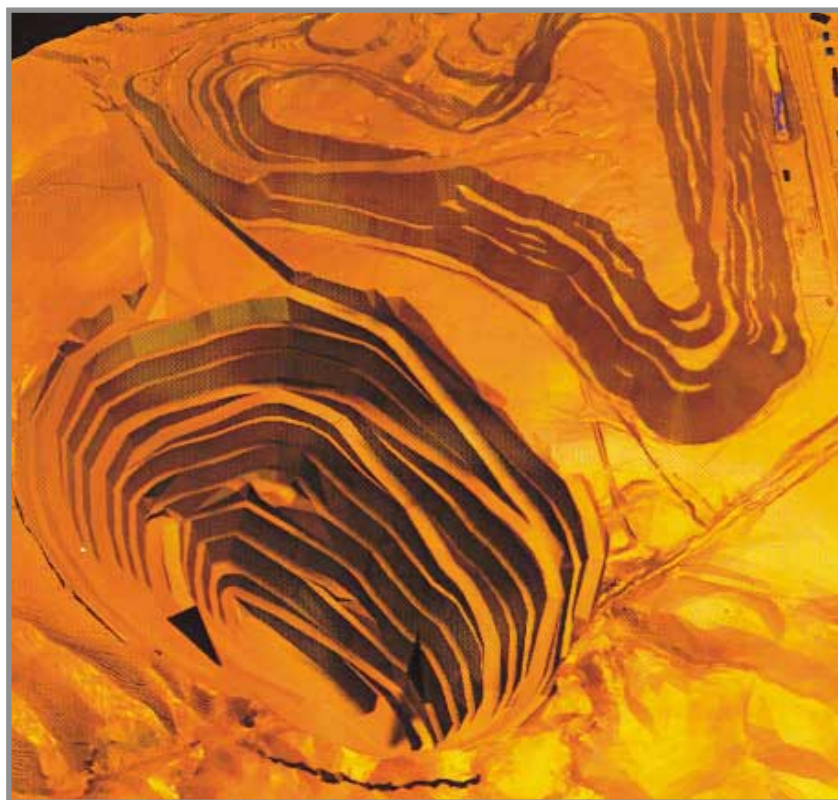


Imagen digital del estado final que tendrá la explotación de la corta de Los Frailes (Aznalcóllar). Cedita por Boliden - Apirsa.



Excavadora hidráulica DEMAG H2855, con cazo de 22 m³ y motor de 1.600 caballos de potencia. Es de carga frontal y se emplea en Aznalcóllar para carga de mineral en zonas difíciles de cargar para las excavadoras eléctricas. Foto: Miguel Checa.

sario emplear los equipos mineros más grandes para cerrar la brecha de la balsa, y la maquinaria auxiliar para las labores de limpieza en la parte superior del cauce afectado del río, así como otras labores de apoyo necesarias. El hueco de la mina de Aznalcóllar ha sido utilizado para depositar los lodos retirados de los cauces fluviales afectados.

Tras el informe emitido por el *Instituto Tecnológico Geominero de España* en febrero de 1999 confirmando la impermeabilidad de la *Corta Aznalcóllar*, se decidió depositar en ella los lodos de la planta de tratamiento, ya que la balsa está siendo sellada y restaurada.

La actividad de la mina se reinició en abril de 1999. Se deben reconocer, independientemente de toda la polémica medioambiental generada, el tremendo esfuerzo del personal y técnicos de la empresa, volcado en la recuperación de los terrenos y riberas afectados por la riada de lodos, llevada a cabo con rapidez y empleando todos los recursos disponibles, mientras los organismos públicos discutían en los despachos sin dar soluciones.

MINA SOTIEL

La mina de Sotiel es propiedad de *Almagrera S.A.*, filial del grupo multinacional *Navan Resources*, y se encuentra situada al Sur de la comarca minera de El Andévalo, en la aldea de Sotiel Coronada (Huelva). Localizada en las estribaciones meridionales de la Sierra de Andévalo, la

mina se halla en una zona agreste con sucesión de valles cerrados entre cerros de pronunciada pendiente. En medio de este paisaje, la presencia dominante de crestos de jaspes manganesíferos y numerosos indicios y labores mineras revelan al visitante una tradición minera antigua e importante.

La historia de la mina de Sotiel se atiene al guión general de tantas otras minas de la región, con épocas de intensa actividad minera y extensos periodos de abandono. Los escoriales presentes en la zona y los importantes restos arqueológicos hallados en sus galerías, demuestran una etapa de intensa actividad durante el periodo tartésico-romano.

En 1866 se iniciaron las primeras labores modernas, mediante el desescombro de algunas galerías romanas, y la apertura de nuevos desarrollos mineros, que incluían un pozo de reconocimiento de 100 m. La explotación comenzó en 1870, a partir del citado pozo, abriéndose un nivel de explotación con galerías transversales y longitudinales con un total de 372 metros. Problemas económicos paralizaron estos trabajos en 1875.

En 1883, la *Companhia Mineira Sotiel-Coronada* adquirió varias concesiones mineras colindantes con la mina y arrendó esta a los propietarios, creando un grupo

minero que tuvo gran actividad hasta finales de siglo, con importantes producciones anuales. *Pinedo Vara* estima entre 400.000 t y 500.000 t de mineral el total de producción de la mina en este periodo, en el que principalmente se beneficiaron las pirritas, por tostación al aire libre para recuperar sus contenidos en cobre. Los trabajos mineros continuaron a buen ritmo hasta que, en 1896, se produjo un incendio en la zona central de la masa que no pudo ser controlado, que obligó a abandonar la zona de mayor volumen de mineralización, y trabajar en la *Zona Levante* de la mina, donde aparecía un mineral cobrizo de gran riqueza pero escaso. En agosto de 1900 se inicia la extracción a cielo abierto de los esquistos cupríferos en la corta de *Fraguas Viejas*, situada en la concesión “Virgen de España”, pero a pesar de esto, las pérdidas producidas por el incendio, unidas a la bajada de la cotización del cobre en este periodo, condujeron a la venta de la mina en 1904 a la compañía inglesa *The United Alkali Co. Ltd.*

Las labores de recuperación de la zona central de la mina, que se había dejado inundar tras el incendio de 1896, se inician inmediatamente por los nuevos propietarios, continuándose las labores de extracción, tanto en la *Zona Levante* como en la *Corta*. Además de *Sotiel*, la compañía compró, en dos años, las minas *Concepción*, *Poderosa*, *Castillo Buitrón* y *Tinto-Santa Rosa*, además del *Ferrocarril del Buitrón*, el primer ferrocarril minero de la provincia, para dar salida a sus minerales.

Alkali, empresa eminentemente química, gestionó sus minas onubenses como una garantía de suministro

continuo de pirita para el ácido sulfúrico, e independiente de los caprichos comerciales de las grandes compañías mineras de la época (*Río Tinto* y *Tharsis*), lo que le permitía negociar los precios de compra del mineral desde una posición segura y ventajosa. Este hecho parece explicar las fluctuaciones en las producciones de las minas durante este periodo, al depender estas de las buenas o malas relaciones comerciales de *Alkali* con otros productores de pirita. En *Sotiel*, hasta 1912 todo el mineral era exportado a Inglaterra, pero los acuerdos

“Las campañas de exploración iniciadas en 1982 pusieron de manifiesto la masa Sotiel Este y Migollas, impulsando notablemente la minería de este yacimiento”

comerciales con la *Río Tinto Company* hicieron que a partir de esa fecha se acumulara el mineral en el paraje conocido como *Las Viñas* para su cementación, junto con el del grupo de *Tinto-Santa Rosa*. El tonelaje alcanzado se estima que pudo llegar al millón de toneladas, que una vez cementadas, se exportaron en forma de pirita lavada.

En 1924 se abandonó la extracción de pirita, por la baja ley en azufre de la misma, continuándose el laboreo en las zonas cobrizas, como eran las denominadas *Masa Grande o Región 21*, pero principalmente en el piso 18 de la mina, conocida por los mineros como *El Infierno* por las inadecuadas condiciones de trabajo existentes. Los ritmos anuales de extracción fueron, desde entonces, paulatinamente más bajos hasta que la Guerra Civil y el agotamiento de *El Infierno* en 1939, marcaron la paralización y venta por parte de *Alkali* de sus derechos mineros.

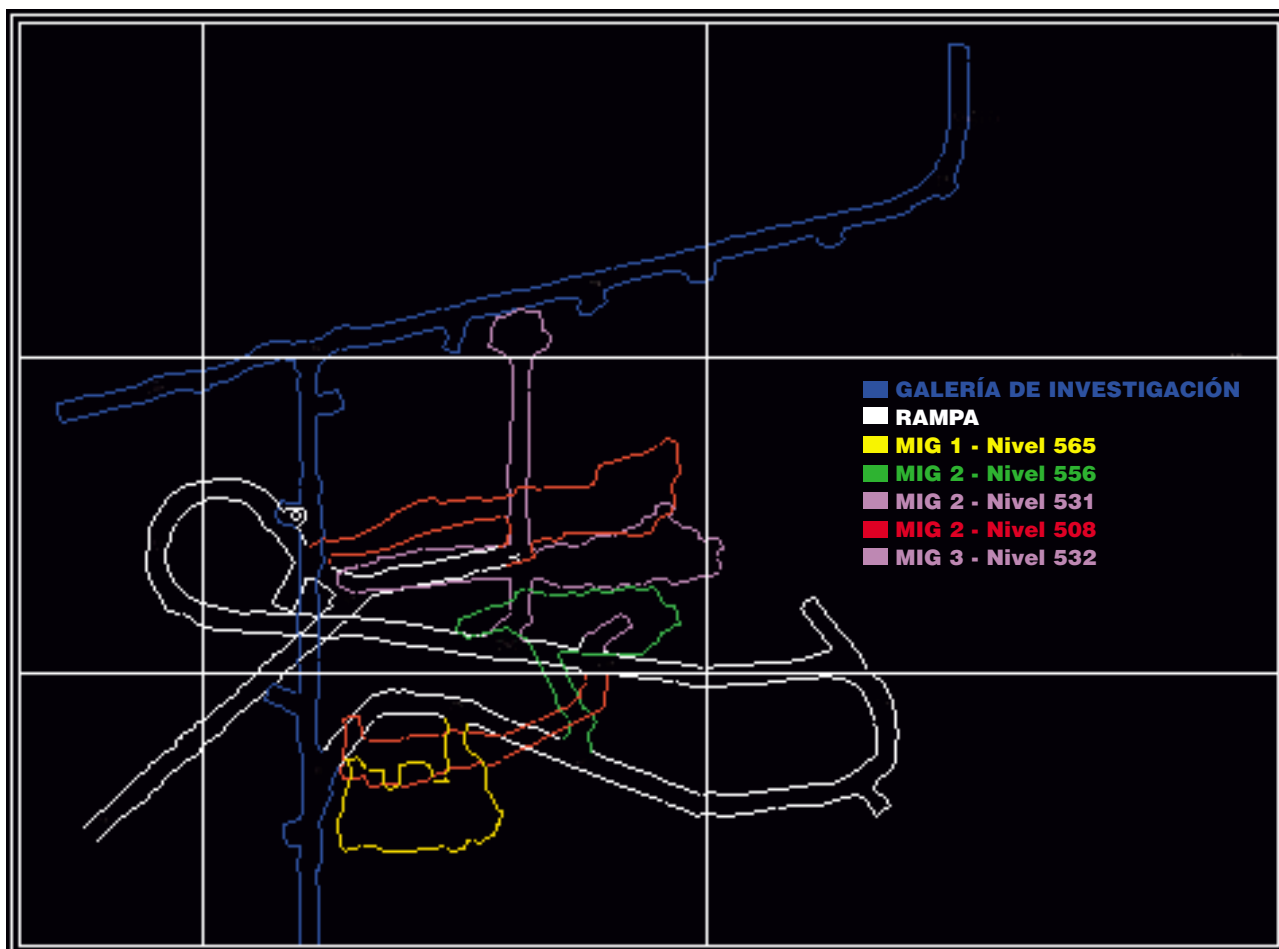
Ya en 1963, el ingeniero de minas Isidro Pinedo Vara advertía su disconformidad con el supuesto agotamiento de esta

mina, apostando fuertemente por la viabilidad de la misma, recomendando nuevas investigaciones del yacimiento. La apuesta personal de Pinedo con Sotiel se concretó en nuevas investigaciones de Adaro (incluyendo el reconocimiento de las labores antiguas, la realización de un pozo de acceso y de una galería de investigación) que demostraron la existencia, a mediados de los años setenta, de un cuerpo mineralizado de sulfuros polimetálicos, de dimensiones 950 m x 50 m x 650 m (longitud, potencia, profundidad) con unas reservas de 42 Mt y leyes medias de 0,6% Cu, 1,6% Pb y 4,5% Zn. Esta mineralización se encontraba prácticamente virgen, pues los minerales polimetálicos no habían sido explotados por la falta de técnicas metalúrgicas apropiadas a principios de siglo para el beneficio del zinc. Como anécdota, cabe decir que la primera planta de concentración diferencial de sulfuros en Europa data de 1927, y fue construida por la *Real Compañía Asturiana* para tratar los minerales de Reocín (Cantabria), cada vez

con mayor contenido en sulfuros, al ir agotándose los carbonatos de la montera del yacimiento).

Todas estas investigaciones se concretaron en un proyecto del I.N.I., que desarrollaría una empresa del grupo: Minas de Almagrera S.A., y que contemplaba la explotación, mediante minería interior, de la masa de sulfuros complejos, con una producción estimada anual de 600.000 t de mineral. El método elegido fue el de corte ascendente y relleno, a semejanza de las vecinas minas de La Zarza (Calañas) o Alfredo (Riotinto).

Este método, clásico en la FPI, contemplaba la explotación de la masa mineral mediante la voladura de "rebanadas" de mineral o cortes en sentido ascendente, a partir de un nivel o cámara inicial, rellenándose los huecos generados con estériles para permitir el acceso de maquinaria y personal al siguiente corte de la cámara. Para el sostenimiento de los techos de las cámaras se empleaban cables de acero de 20 m inyectados con cemento. Además, se



Plano en perspectiva con la superposición de las labores realizadas en el año 1999 en las tres zonas en que se dividen los bandeados cobrizos de la masa Mi-gollas, en el yacimiento de Sotiel (Huelva). Imagen cedida por Almagrera, S.A.



Espectacular vista de la cámara experimental 1350 en la mina Sotiel (Huelva). En esta cámara, de 25 m de altura, se probó el nuevo método de subniveles cuando se decidió cambiar el antiguo método de corte y relleno. Foto cedida por Fernando Plá.

dejaban en algunas zonas pilares cuadrados, que quedaban enterrados en el relleno conforme se avanzaba la explotación.

Los trabajos de infraestructuras (rampa de acceso, plano inclinado de extracción, trituración primaria) se iniciaron en junio de 1980, obteniéndose el primer mineral durante el año 1983 (79.440 t). Además de estos trabajos, se construyó la planta de tra-

tamiento de mineral, que emplea el método de flotación diferencial para obtener concentrados de los tres metales base (Cu, Pb, Zn) a partir del mineral, triturado y molido previamente. Con vistas a obtener un mayor aprovechamiento de los minerales, se montó también una planta de ácido sulfúrico, que procesa parte del estéril de pirita procedente de la flotación, mediante



Pala cargadora Toro 501 de perfil bajo trabajando en la mina Sotiel. Este tipo de maquinaria se utiliza para cargar el mineral dentro de las cámaras por medio de un control remoto, manejado por un operario, que hace las operaciones más seguras. Foto cedida por Fernando Plá.

su tostación, y otra planta de fabricación de sulfato de cobre que se alimenta de las propias cenizas de la tostación. La pirita sobrante era también vendida a los fabricantes de ácido sulfúrico del Polo Químico de Huelva, depositándose el resto en una presa de estériles situada junto a la planta de tratamiento.

Los trabajos en la mina se realizan en la actualidad de forma completamente mecanizada, mediante equipos de perforación, tanto en avance horizontal como en producción, carga mecanizada de explosivos, acarreo del mineral mediante palas L.H.D. de control remoto y transporte hasta trituración con volquetes. El mineral es extraído de la mina a través de un plano inclinado de 1.800 m de longitud, por cinta transportadora, que continúa en superficie hasta las plantas industriales, situadas a 4 km. La producción plena del corte y relleno se alcanzó entre los años 86 y 87, con un máximo en 1991 de 643.000 t de mineral complejo.

En 1982 se iniciaron una serie de campañas de exploración, mediante sondeos de superficie e interior, que en 1986 pusieron de manifiesto la existencia de nuevas masas de sulfuros, situadas al este de *Sotiel*, denominadas *Sotiel Este* y *Migollas*. *Sotiel Este* puede considerarse como una extensión de *Sotiel*, y se trata de un conjunto de lentejones de sulfuros con contenidos en polimetálicos mayores que *Sotiel*, con un total de seis masas paralelas, situados entre los 300 m y 400 m de profundidad, con potencias y desarrollos muy variables, y donde la fuerte inclinación al Norte de las masas de *Sotiel* se suaviza hasta llegar a ser subhorizontal.

Por otro lado, *Migollas* es una masa de pirita de importante tamaño, con fuertes inclinaciones y baja ley media en los metales base, en la que aparece, en la zona reconocida al Oeste, un bandeado muy enriquecido en cobre. Se trata de una masa profunda, sin ninguna manifestación superficial, situada bajo el denominado P-Q (unidad de muro del complejo Volcánico Sedimentario).

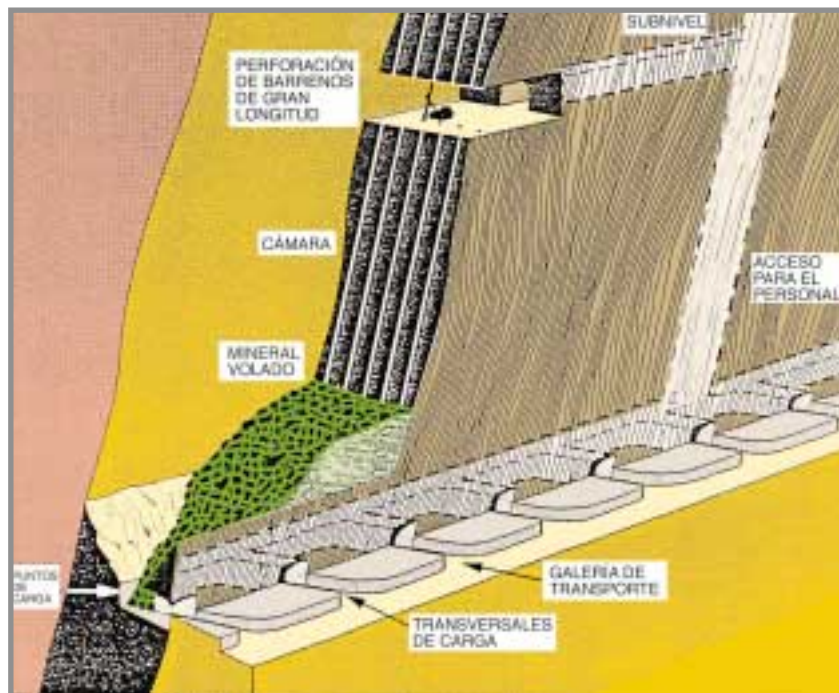
La necesidad de tratar un mineral distinto al complejo, como es el de *Migollas*, obligó a montar una línea paralela de flotación para el cobrizo. Otra mejora importante ha sido la instalación, a mediados de 1997, de una molienda autógena que trabaja paralelamente a la molienda normal existente, destinada también al

mineral de *Migollas*, de mayor dureza y nuevos requerimientos para su tratamiento.

Estos hallazgos aumentaron enormemente las reservas de la mina, y su cercanía a las infraestructuras de permitieron afrontar una explotación conjunta de los tres yacimientos desde *Mina Sotiel*. Se marcó, con estas nuevas condiciones, el objetivo de aumentar la producción anual de la mina hasta 800.000 t, mediante la aplicación de un nuevo método en *Sotiel Este*, de *Cámaras y Pilares*, en el cual se abren, a favor de dos aperturas en la cabeza y base de la explotación, y mediante banqueo o realces en retirada, cámaras de 12 metros de anchura, con longitudes que pueden llegar hasta los 200 m y alturas marcadas por la potencia de la masa explotada, que puede variar entre 10 y 30 metros. Entre dos cámaras consecutivas se dejan pilares de 8 metros de anchura a lo largo de toda la longitud de las mismas (*pilares corridos*).

Además de la nueva explotación del Este, se planteó el cambio del método de laboreo de *Sotiel* por el de *banqueo entre subniveles*. En *Migollas*, que no iba a entrar en producción hasta 1994, se aplicaría el nuevo método, apoyándose en la experiencia de *Sotiel*. El método se basa, a favor de la fuerte inclinación de las masas de *Sotiel* y *Migollas*, de más de 60°, en la realización de dos aperturas o subniveles, separados 25 metros en altura. Una vez abiertos, se perfora en el superior (nivel de cabeza) una malla de barrenos paralelos o en abanico que llegan hasta el nivel inferior (nivel de carga), explotándose el mineral mediante voladuras de banqueo. El mineral se carga mediante palas de control remoto desde el nivel inferior y es llevado a la trituración mediante camiones de 40 t ó a través de piqueras. Una vez explotado el subnivel completo, este se rellena con estériles, y se inicia el siguiente, abriéndose otro nivel de cabeza y quedando el anterior como nivel de carga.

Durante los años 92 y 93 se realizaron las infraestructuras necesarias y las pruebas de adaptación a los nuevos métodos de explotación, entrando en producción *Sotiel Este* en 1992 y *Migollas* en 1994. A partir de esta fecha se han venido empleando los tres métodos señalados, incrementándose la producción anual hasta una cifra récord de 720.000 t en 1997, y reali-



Representación del método de barrenos paralelos en la perforación de cámaras por subniveles, según Hamrín (1982).

zándose gradualmente la sustitución del corte y relleno en *Sotiel* hasta 1997, cuando se realizó la última voladura en la cámara 1150. La explotación ha alcanzado durante 1999 la zona más profunda que laboreó *Alkali* en el primer tercio de siglo, la llamada “veta tercera”, estando actualmente en el nivel 800.

Las sucesivas investigaciones realizadas en los últimos años han ido aumentando las reservas explotables. Las masas de *Sotiel Este* no están cerradas, prosiguiendo la investigación de forma gradual para garantizar reservas explotables a corto y me-

dio plazo. De las seis masas, se han reconocido y explotado parcial o totalmente cinco, siendo la sexta (la más superficial y la más potente de todas) uno de los objetivos principales de la investigación actual. La *Masa Migollas* está cubizada en su totalidad, pero solo se han establecido reservas explotables en su parte Oeste (donde se sitúa el bandeado cobrizo). Al Este existe un cuerpo mineralizado de más de 40 Mt de sulfuros del cual se tiene muy poco conocimiento de sus leyes, y del que los datos de partida auguran un futuro muy interesante a medio plazo.



Jumbo perforando una pega de avance en el Nivel 675 de *Sotiel Este*. Foto cedida por Almagrera, S.A.

MINA DE NEVES-CORVO

Neves-Corvo se encuentra en la zona portuguesa de la Faja Pirítica, a 40 km. al SE del centro minero de *Aljustrel*, en la región del Baixo Alentejo. Es la mina más rica en contenidos metálicos descubierta hasta el momento.

En 1977, durante los sondeos de investigación de una anomalía gravimétrica, se cortaron minerales de alta ley en cobre. Esto condujo al descubrimiento de cuatro masas de sulfuros: *Neves*, *Corvo*, *Graça* y *Zambujal*. Pronto se confirmó la existencia de un yacimiento no aflorante de altísimos contenidos metálicos. La posterior campaña de sondeos de detalle en interior, permitió aumentar el conocimiento sobre

los cuatro primeros cuerpos y el hallazgo, en 1988, de una quinta masa de menor tonelaje y ley que las anteriores: *Lombador*. Las reservas de mineral totalizan 78.552.000 t con leyes de 2,93 % Cu, 4,01 % Zn, 0,74 % Pb, 0,22 % Sn y 37 g/t Ag, al que deben sumarse 138.000.000 t de pirita con leyes de 0,51 % Cu y 0,23 % Zn.

En 1980 se constituye la *Sociedade Mineira de Neves-Corvo (SOMINCOR)*, con la participación del Estado Portugués y la francesa *Sociedad Minero-Metalúrgica Peñarroya*. En 1981 se inicia el desarrollo de la *Rampa do Castro* y, un año después, del *Poço Santa Bárbara*. En junio de 1985 los franceses venden su participación a la inglesa *Rio Tinto Metals Ltd.*, filial de *R.T.Z.*, iniciándose la producción en *Graça* y *Cor-*

vo a finales de 1988 a un ritmo de 1 Mt/año de mineral cobrizo. En 1990 se comenzó el tratamiento de las menas de estaño.

El método empleado es el de *corte y relleno ascendente por galerías (Drift & Fill)*, que se adapta perfectamente a las características del cuerpo mineralizado. Los niveles de explotación se definen desde la rampa principal, mediante galerías a muro paralelas al contacto desde las que arrancan los accesos al mineral. Alcanzado el mineral, se entra en él con una galería horizontal desde la que a izquierda y derecha se perforan dos trincheras con las que se define completamente la sección. La explotación se realiza en retirada hacia el muro, simultaneando la apertura de nuevas trincheras con el relleno de otras ya extraídas. Cuando se finaliza la explotación del primer corte de 5 m de altura, se realiza el transversal y se realiza un nuevo corte repitiéndose esta operación hasta cuatro veces.

La perforación se realiza con jumbos de dos brazos y la carga mediante LHD. El mineral se vierte por un pozo hasta el nivel 700. Allí, una flota de volquetes lo transporta a la machacadora. El mineral se distribuye en cuatro silos de 1.100 t de capacidad que alimentan a una cinta transportadora con la que se cargan los skips del *Poço Santa Bárbara*. El relleno de los ensanches se realiza con una mezcla de cemento, colas de flotación, arena y agua que se prepara en superficie y es introducido en la mina mediante una red de sondeos y tuberías.

En el *fissural de Neves Norte* el método se denomina *Banqueo y relleno en dos pasadas (Bench & Fill)*. Consiste en la explotación del mineral en cámaras de 12 m de ancho, 60 m de longitud y 30 m de alto separadas por pilares de 12 m similares a las abiertas en otras minas de la región (como *Sotiel*).

La ley de tratamiento en cabeza de la planta de cobre es del 6,5 % Cu. El todo uno pasa por una machacadora giratoria. La trituración secundaria consta de dos conos de cabeza corta en circuito cerrado con dos cribas vibratorias y la molienda se efectúa en un molino de barras seguido de dos de bolas. Tras una fase de ciclonado, el producto resultante pasa a un circuito de flotación.

El concentrador de estaño inició su actividad en 1990, con una capacidad de tratamiento de 300.000 t de mineral al año, de las que 200.000 t son de minerales cuproestañíferos y el resto Rubané (véanse los artículos de geología en *Bocamina nº 4*) de estaño. Estos dos tipos de mineral se tratan



Labores de avance en cámaras, realizadas mediante un Jumbo electrohidráulico, en la mina de Neves-Corvo (Portugal). Foto cedida por Fernando Plá.



Vehículo para transporte de personal, preparado para entrar en la rampa do Castro, durante una visita realizada en octubre de 1997 a la mina Neves-Corvo. Foto: G. García.



Cristal de tetraedrita de 4 mm, recogido en una fractura en la pirita del Nivel G 844 de la masa Graça (Neves-Corvo). En esta fractura aparecieron numerosos ejemplares de hábito triaquistetraédrico de hasta 10 mm de arista. Colección: Iván Carrasco. Foto: F. Piña.

en dos circuitos independientes que únicamente comparten la sección de trituración.

La ley en cabeza del Rubané es de 2 % a 5 % Sn y 1,4 % Cu. Esto, unido al tamaño de grano relativamente grande de la casiterita, hace que el 70 % del estaño sea recuperado por la combinación de concentración gravimétrica y flotación. Tras una etapa de flotación de desbaste seguida de ciclonado, el material pasa por una serie de mesas vibratorias donde la casiterita es separada del resto de minerales. El rechazo va a remolienda e inmediatamente a un circuito de flotación. La ley en cabeza del mineral cupro-estañífero es de 1,6% Sn y 14% en Cu. El circuito es similar al del concentrador de cobre. Los estériles de este circuito son ricos en casiterita y, una vez eliminada la pirita, pasan al circuito de mesas de sa-

cudidas con el Rubané. Los concentrados de cobre y estaño son filtrados, secados y almacenados en containers para su transporte por ferrocarril hacia el puerto de Setúbal.

MINAS DE ALJUSTREL

Los yacimientos de sulfuros masivos de *Aljustrel* están situados en el sector portugués de la FPI. El grupo minero está formado por los siguientes cuerpos mineralizados: *Los Algaes*, *São João do Deserto*, *Moinho*, *Feitais*, *Estação* y *Gavião*. Los dos primeros son los únicos que afloran en superficie, limitándose a ellos las labores

mineras hasta la primera mitad del siglo XX. El resto fueron descubiertas entre 1954 y 1970, siendo los recursos actuales del grupo superiores a 170 Mt de sulfuros (Leitão, 1997).

Las mineralizaciones más superficiales del área (*Algaes* y *São João do Deserto*) fueron explotadas en la antigüedad para obtener plata y cobre. A mediados del siglo XIX, en plena fiebre minera, fueron rehabilitadas por la empresa portuguesa *Sociedade la Transtagana*. En los cinco años en que mantuvieron la propiedad de las minas, extrajeron por minería subterránea 18.000 t de cobrizos de *Los Algaes*. A cielo abierto se produjeron 75.000 t de piritas en *São João do Deserto* (Gouin, 1912). Las minas sufrieron un parón hasta que en 1898 se constituyó en Amberes la *Société des Mines d'Aljustrel*, que adquirió las explotaciones ese mismo año. La nueva empresa reactivó los trabajos en las dos minas. Diez años después, la producción anual de pirita alcanzaba las 100.000 t que eran tratadas "in situ" por cementación natural. Esta compañía permanecerá en *Aljustrel* hasta finales de los años 60. Con el fin de la II Guerra Mundial se produce un rápido incremento de la producción hasta las 350.000 t/año.

A principios de los años 50, el agotamiento de la masa *Algaes* y las dificultades operativas que se presentaron en *São João*, motivan a la empresa para realizar una fuerte inversión en busca de nuevas reservas. La exploración geológica pronto dará los frutos esperados: en 1954 se descubren indicios en el Cerro do Carrasco, aplicándose por primera vez en la Faja el



Detalle de un tiro de vagones para carga de mineral en las minas de Aljustrel. Agosto de 1997. Foto: G. García.



Vista parcial de instalaciones en las minas de Aljustrel (Portugal), en agosto de 1997. Foto: G. García.



Castillete metálico y tolva en las minas de Aljustrel (Portugal). Los estudios de previabilidad llevados a cabo en los últimos años en estas minas, hacen de del yacimiento de Feitais uno de los de mayor potencial económico de toda la FPI. Foto: G. García.

método electromagnético Turam (Leitão, 1997). Un año después los sondeos mecánicos de la compañía minera probaron que el llamado *Filão Carrasco* era en realidad una parte de una nueva masa de sulfuros que se denominó *Moinho*.

El descubrimiento de *Masa San Antonio* en Riotinto y los trabajos de la *Compagnie Générale de Géophysique* en *Moinho*, animaron a la dirección de *Aljustrel* a continuar las investigaciones. A partir de aquí los éxitos se suceden: en 1964 se sondea una anomalía identificada por Lea Cross Geophysics, hallándose el depósito de *Feitais*. Cinco años después se descubre la masa *Estação*. En 1970, *Piratas Alentejanas S.A.*, nueva empresa explotadora de las minas, descubre *Gavião*.

La minería se extiende a *Moinho* y *Feitais*, utilizándose el método de *corte y relleno ascendente*. Llegaron a abrirse cortes de hasta 130 m de longitud, 30 m de anchura y 4 m de altura (Galiza y Toscano, 1993). La aparición de nuevas menas de azufre afectó también a *Aljustrel*, que vio como a medida que avanzaba la década, se acentuaba la regresión del mercado de la pirita. En 1977, *Piratas Alentejanas S.A.*, inicia un programa de investigaciones para tratar los minerales complejos, que culminan en 1991 con la construcción de una planta de molienda y flotación diferencial para producir concentrados de zinc, cobre y plomo, con una capacidad de tratamien-

to de 1,2 Mt/año (De Sousa, 1999).

Mina Moinho también se adecuó a los nuevos tiempos sustituyéndose el corte y relleno por el método de *subniveles transversales*. Sin embargo, el descenso de las cotizaciones de los metales básicos que se vivió entre 1992 y 1993 motivó la suspensión de labores en *Mina Moinho*. Desde entonces las instalaciones permanecen cerradas, pero bien mantenidas.

A mediados de 1998 *Piratas Alentejanas S.A.* y *E.D.M.* llevan a cabo un estudio de previabilidad en *Aljustrel*. La revisión de los datos geológicos disponibles puso de manifiesto la existencia de zonas de complejos ricos en Zn en *Feitais*. Se llevaron a cabo dos campañas de sondeos que permitieron incrementar en tonelaje y ley los recursos. Además se encontraron también valores interesantes en oro y una nueva zona de cobrizo infrayacente al polimetálico. Los estudios han confirmado el potencial económico del yacimiento, creándose para la explotación de la mina la compañía *Euro - Zinc Mining Corp.* Esta empresa posee los derechos del 75% de la propiedad y está llevando a cabo los trabajos necesarios para comenzar la producción del mineral de *Feitais*, estando previsto el arranque a mediados del año 2000.

NUEVAS PERSPECTIVAS

La FPI es una de las provincias metalogénicas con mayor perspectiva de desarrollo de todo el mundo. En las últimas décadas, nuevos criterios de exploración y evaluación de recursos han permitido la puesta en marcha de algunos nuevos yacimientos y el incremento de los campos de investigación y desarrollo en la minería de esta zona. A esto se ha unido el continuo desarrollo en las técnicas de extracción y beneficio de los metales base. En las siguientes líneas se ofrece una sencilla visión general de las últimas tendencias y proyectos que se están realizando.

EXPLORACIÓN

Al aflorar los horizontes portadores de las masas piríticas en una gran extensión geográfica, favorecidos por las estructuras geológicas dominantes, se produjo la alteración meteórica de todos los depósitos superficiales, creándose las conocidas monteras que atrajeron la atención de los primitivos explotadores. Las minas de pirita

que se abrieron en época moderna nacieron, en su totalidad, del reconocimiento de los diferentes afloramientos de esas masas, marcados por supuesto por la minería antigua. Esta situación se prolongó durante mucho tiempo, dándose casos extremos en los que algunas empresas mineras abandonaban excelentes yacimientos por otros "más accesibles", al no conocer realmente como era el depósito que estaban trabajando, generalmente por falta de una adecuada investigación, que muchas veces era realizada de forma intuitiva y solo para garantizar las reservas necesarias para continuar las labores a corto plazo. Otras empresas, por el contrario, realizaban extraordinarios esfuerzos económicos para afrontar la explotación de un depósito pobre y escaso, produciéndose auténticos fiascos.

Los altísimos tonelajes de mineral existentes "a la vista" y la gran cantidad de minas que se abrieron desde mediados del siglo XIX crearon una sensación de recursos inagotables, pero obviamente, esto no podía ser cierto. Los progresivos agotamientos de las masas de sulfuros superficiales y el cierre de numerosas explotaciones, sucesos iniciados en la primera mitad de este siglo, obligó a los mineros a plantearse la necesidad de buscar un poco más allá de lo evidente.

El paso a dar parece ahora sencillo. Al armar los depósitos en el Complejo Volcano-Sedimentario (CVS) se exploraron, con el apoyo de las nuevas técnicas de ex-



Sondeo de investigación geológica realizado en octubre de 1997 por Minas de Río Tinto S.A.L., en la mina La Poderosa. Foto: Iván Carrasco.

ploración geoquímica y geofísica (gravimetría, magnetometría, sondeos electromagnéticos y la confirmación mediante sondeos mecánicos) las proximidades de los afloramientos de esta formación, lo que permitió descubrir una serie de masas “ocultas”, que en numerosas ocasiones eran, en realidad, continuación de yacimientos aflorantes ya explotados o conocidos. Algunas masas descubiertas así fueron: *San Guillermo* (Tharsis - 1955), *San Antonio* (Riotinto - 1962), *Sotiel* (1965) o *Aznalcóllar* (1966).

El descubrimiento en 1977, en el lado portugués de la FPI, de *Neves Corvo*, un yacimiento oculto profundo, con grandes tonelajes y altísimas leyes en metales base, situado a 400 m bajo el Culm, provocó una revolución en los criterios de exploración minera de la FPI, al redefinir las estructuras geológicas existentes, estableciendo un puente hacia el siguiente escalón de la búsqueda, en el que se encuentra actualmente la investigación. En relativamente poco tiempo, aplicando los nuevos criterios, se han descubierto diferentes masas profundas: *Gaviao* en 1970 (bajo materiales terciarios), *Valverde* en 1986 (bajo el Culm, a 430 m), *Aguas Teñidas* en 1983 (entre 200 y 600 m de profundidad), *Los Frailes* (bajo el Mioceno, a 150 m) y *Migollas* en 1989 (bajo el Devónico, a 450 m), o más recientemente *Las Cruces* (a 150 m bajo materiales terciarios). En algunos de estos yacimientos se ha empezado ya la explotación, mientras que otros están en una fase de desarrollo temprano.

Es importante reseñar, para comprender la importancia de esta etapa de la investigación, que aproximadamente dos tercios de superficie de la FPI están recubiertos por terrenos del Culm, Mioceno y Devónico, lo que, combinado con las nuevas teorías sobre la tectónica de la zona, abren enormemente el campo de investigación minera.

AGUAS TEÑIDAS ESTE

El yacimiento de *Aguas Teñidas Este* está localizado en el término municipal de Almonaster la Real (Huelva), a solo 3 km del pueblo de Valdelamusa, y debe su nombre a la cercanía de la antigua mina de *Aguas Teñidas*, que tuvo una producción histórica reducida pero de muy altas leyes en cobre. Esta riqueza en el contenido en



Cristales de voltaíta asociados a halotriple, recogidos en el Pozo Alfredo (Riotinto). Encuadre de 8 mm. Colección: Gonzalo García. Foto: F. Piña.

metales parece característica de algunas de las minas de la denominada “Banda Norte” de la FPI, como *San Telmo* o la cercana *Monte Romero*, donde se obtuvieron, durante su explotación, altas leyes en zinc. Por el contrario, las masas no alcanzan las extraordinarias dimensiones de depósitos como los de *La Zarza* o *Riotinto*, siendo en general de pequeño o medio tamaño.

Cercano también a las minas de *Cueva de la Mora* y *Confesionarios*, *Aguas Teñidas Este* es una masa que se descubrió en 1980 mediante una campaña de investigación geofísica de la empresa *Billiton*, que mostró la existencia de un conductor electromagnético profundo. A partir de los datos obtenidos y de su interpretación geológica, se realizaron tres sondeos, el tercero de los cuales cortó, en 1983, la masa de sulfuros.

Entre 1987 y 1994, sucesivos estudios y sondeos definieron y ampliaron la geometría y reservas del yacimiento, recono-

ciéndose un cuerpo mineralizado de 1.200 m de longitud y más de 40 Mt de sulfuros masivos, que se inclina aproximadamente 20° en dirección Oeste a profundidades entre 200 m y 600 m, con potencias máximas de 90 m en su zona Norte. Las reservas estimadas en 1998 eran de 19 Mt de mineral, divididas entre mineral polimetálico (12 Mt con 7,21% Zn; 1,91% Pb; 1,08% Cu y 68 g/t de Ag) y cobrizo (6 Mt con 2,92% Cu). Existe también a muro de la masa un stockwork que ha sido poco investigado desde superficie por ser de difícil acceso con sondeos. El yacimiento no está cerrado hacia el Oeste, pues existen sondeos que demuestran que continúa en profundidad, con leyes interesantes en zinc y cobre.

En 1995, el yacimiento es adquirido por *Navan Resources*, que inicia los primeros estudios de diseño minero, y decide realizar una explotación subterránea del mismo, con acceso a la masa mediante rampa y extracción del mineral por pozo, comenzándose la apertura de la rampa de acceso, que será de 4,2 km de longitud, en 1997. A principios de 1999 la rampa tocó el mineral, habiéndose extraído ya ese año las primeras 150.000 t de mineral de alta ley, además de concretar en mayor detalle las reservas explotables mediante una galería de investigación a techo del mineral desde la que realizar una malla de sondeos a lo largo de todo el yacimiento. El mineral es tratado y concentrado en la planta de *Almagrera*, propiedad también de Navan, y situada a 30 km de distancia, triturándose en la propia boca-



Aspecto, en enero de 1998, de la ejecución de la entrada en rampa al yacimiento de Aguas Teñidas Este (Valdelamusa, Huelva). Foto: G. García.



Agregado de cristales laminares semitransparentes de romboclasa, procedentes del 33 Piso del Pozo Alfredo (Ríotinto). La romboclasa aparece también formando estructuras globulares o en forma estalactítica, pero siempre con la estructura interior hojosa. Encuadre de 13 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

mina, estando actualmente en estudio el modo de transportarlo hasta ella, que sería mediante ferrocarril o camiones.

LAS CRUCES

El yacimiento de *Las Cruces* está situado a 6 km del pueblo sevillano de Gerena, y entra dentro de la nueva categoría de masas ocultas. Se encuentra cubierto en su totalidad por las margas verdes del Valle del Guadalquivir. Situado a 150 m de profundidad bajo estos materiales terciarios, el yacimiento es un lentejón de 1 kilómetro de longitud y 500 metros de

corrida, investigado por *Riomín Exploraciones* (filial de la multinacional *Río Tinto*), a partir del descubrimiento de una fuerte anomalía gravimétrica. Esta empresa realizó 88.000 metros de sondeos para ubicar la masa.

La mineralización de *Las Cruces* se encuentra dividida en tres zonas: Una parte superior gossanizada de 1,4 Mt y leyes en Oro de 6 g/t. Por debajo del gos-san se encuentra una zona de minerales secundarios de cobre (principalmente calcosina) y leyes medias del 6%. Lateralmente a las anteriores, y también profundizando hacia el Norte, se encuentran



Agregados de cristales aciculares de Kornelita formando grupos esféricos, recogidos en las antiguas labores de mina Alfredo. Encuadre de 12 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

los sulfuros primarios de la masa, con un total aproximado de 22 a 25 Mt con mineralización de tipo polimetálico y leyes medias de 4% Zn, 1,8 Pb y 0,8 Cu, además de 40 g/t de Ag (Industria y Minería, nº 334. Diciembre 1998).

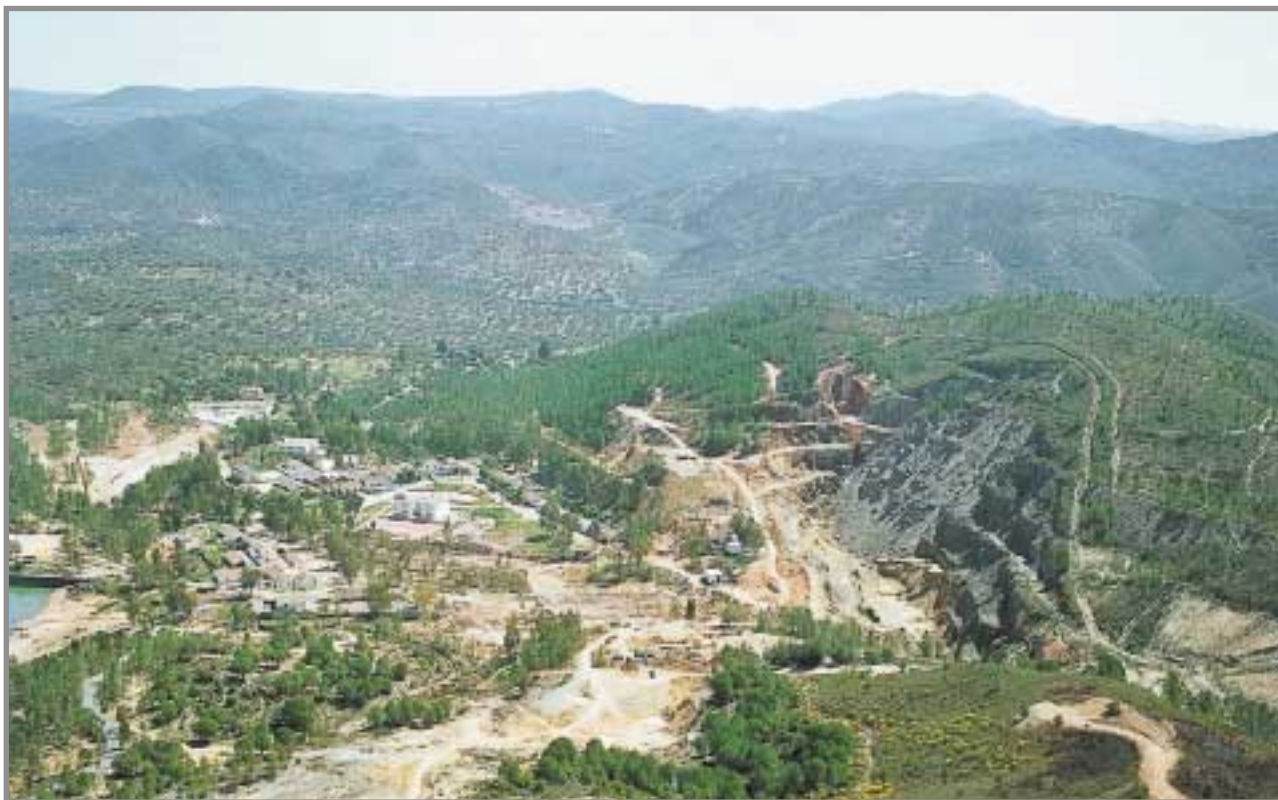
En 1999, *Río Tinto* puso a la venta el yacimiento, siendo comprado por 42 millones de dólares por la canadiense *MK Gold*, que ha creado la filial *Cobre Las Cruces S.A.* para la explotación del yacimiento. La nueva empresa planea ajustar los estudios realizados y continuar la evaluación de los posibles métodos de explotación aplicables, así como obtener los permisos necesarios. El mineral se beneficiaría y refinaría a pie de mina, gracias a la construcción de una planta de proceso hidrometalúrgico en el que se prevé producir 65.000 t de cátodo de cobre anuales.

MINA CONCEPCION

La mina de *Concepción* fue explotada desde época antigua por tartessos y romanos, pero no fue hasta los dos últimos siglos cuando sus labores adquirieron cierta importancia bajo la dirección de diferentes compañías extranjeras y españolas. La última época de explotación de ésta, concluyó en la pasada década de los ochenta, cuando la última propietaria de la mina, la española *Electrólisis del Cobre S.A.*, cerró la explotación de interior por el descenso de los precios de los metales.

El nuevo proyecto de explotación de *Concepción*, realizado por *Minas de Río Tinto S.A.L.*, parte de una nueva exploración de la masa realizada desde 1993, que confirmó la continuidad del yacimiento hasta 450 m de profundidad, con 650 m de longitud y potencias de 20 m a 30 m. La exploración se realizó mediante geofísica y gravimetría para definir la geometría de la masa y 50 sondeos en malla de 67 m x 67 m para realizar la cubicación de los recursos existentes.

La explotación de la masa se realizaría a cielo abierto, beneficiando tanto el nuevo mineral hallado como las anteriores zonas minadas por interior, y se podrían extraer un total de 11,2 Mt con una ley media del 1,16% en cobre, además de una zona enriquecida en mineral complejo, del orden de 0,6 Mt con 0,8% en cobre y 5,5% en zinc, y sería necesario acometer el movimiento de 83 Mt de estériles de recubrimiento. El tratamiento se realizaría en el



Panorámica aérea tomada en 1993 de la explotación a cielo abierto de mina Concepción, con el poblado minero a sus pies. El nuevo proyecto de explotación ha sido llevado a cabo por Minas de Río Tinto S.A.L. y se basa en los estudios de exploración realizados desde 1993, que dan como resultado la continuidad de la masa mineralizada en profundidad. Foto: Azimut, S.A.

cercano concentrador de *Cerro Colorado*, al que se tendría acceso mediante la apertura de una pista minera.

INVESTIGACION HIDROMETALURGICA

Desde el siglo XIX, los minerales de la FPI se han aprovechado, dependiendo de sus características, para:

- Tostación de la pirita cobriza en montones al aire libre (teleras) para recuperar el cobre contenido por lixiviación y cementación con hierro.
- Obtención de ácido sulfúrico con pirritas de baja ley en metales base.
- Obtención de concentrados de cobre, provenientes de minerales con leyes altas en cobre, no necesariamente pirritas, aunque asociados a ellas, como pueden ser las cloritas de *Alfredo* o las pizarras mineralizadas, explotadas a principio de siglo, en *Fraguas Viejas*, en Sotiel, por poner un par de ejemplos.
- Obtención de concentrados diferenciales de Zn, Pb y Cu, a partir de los sulfuros complejos.

La tostación en teleras se abandonó desde principios de este siglo, por los con-

dicionantes medioambientales y económicos relacionados con esta práctica, con una fuerte contestación social y bajos rendimientos. El aprovechamiento de la pirita para la obtención de ácido sulfúrico está limitado actualmente al subproducto generado en la concentración de minerales de alta ley, pues existe un exceso de ácido en el mercado. Por otro lado, la explotación realizada durante estos dos siglos sobre los minerales cobrizos ha agotado diversos yacimientos y ha reducido las leyes en este metal de los aun existentes.

El campo de investigación en el que deberán centrarse la mayoría de los esfuerzos es, sin duda alguna, el relacionado con la recuperación de los metales base (cobre, plomo, zinc) contenidos en los polimetálicos. El sulfuro complejo de la FPI es de composición mineralógica muy variable, con leyes generalmente bajas y una granulometría de liberación muy pequeña, características que obligan a costosos procesos de molienda. Por otro lado, contiene impurezas (arsénico, antimonio, mercurio) que reducen el valor final de los concentrados. En definitiva, no es un mineral de fácil concentración o recuperación, y muy sensible, por ende, a las fluctuaciones de los mercados.

El proceso mineralúrgico empleado tradicionalmente ha sido la concentración diferencial de los diferentes minerales mediante flotación, para después tratar metalúrgicamente los diferentes concentrados de forma separada; el zinc en planta hidrometalúrgica, y el cobre y plomo en fundición, aunque últimamente, y por diferentes condicionantes, se han empezado a considerar soluciones hidrometalúrgicas a estos dos metales. Este procedimiento de concentración no permite, por lo general, obtener productos finales de calidad, debido a la presencia de porcentajes apreciables de los otros metales base en cada uno de los concentrados, que afectan a los rendimientos de la planta metalúrgica.

Por estas razones, no es la primera vez que se plantea la necesidad de desarrollar un tratamiento metalúrgico que parta de concentrados globales, recuperando, como resultado del mismo, los diferentes metales base y, parcialmente, otros minoritarios también de gran valor presentes en las menas, como son el oro o la plata. En los últimos treinta años se han puesto en marcha variados proyectos de investigación encaminados a definir los posibles procesos extractivos, que han sido de com-



Cristales de botriógeno encontrados en las labores subterráneas del Pozo Alfredo (Riotinto). Encuadre de 10 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

plicada implantación, no solo por la gran complejidad de las menas de la FPI, sino también por la falta de entendimiento de las empresas mineras. La investigación se ha orientado últimamente al estudio de los procesos hidrometalúrgicos.

Como ejemplo, *Minas de Río Tinto S.A.L.* trata de aplicar el llamado Proceso *Comprex*, cuya base es la disolución de los metales contenidos en el concentrado global de los sulfuros, oxidación en medio acuoso, separación de los metales y posterior precipitación en celdas electrolíticas, obteniéndose como productos metales finales. Este proceso permitiría obtener un producto de mayor valor añadido que el actual (metal vs. concentrado mineral), lo que podría ofrecer mejores perspectivas económicas a las explotaciones mineras de la FPI. También influiría el menor cos-

te de producción del concentrado global, más económico de obtener que los concentrados diferenciales.

El proceso *Comprex* está actualmente pendiente de la construcción de una planta semindustrial para su demostración. Si la prueba fuese positiva, la construcción de una planta de tratamiento de este tipo podría garantizar la continuidad de varias explotaciones mineras de Huelva. El principal problema de esta planta es (además de no estar probado industrialmente, como los demás procesos convencionales) la inversión que requiere en su construcción: 2.300 Millones de pesetas.

Otra opción que se baraja es la ofrecida por el *Instituto Tecnológico Geominero de España*, que ha venido experimentando en laboratorio un proceso de corte similar, en el que el disolvente empleado para la recuperación de los metales es Sulfato Férrico. Los metales se recuperarían mediante electrólisis, con alto rendimiento, regenerándose los disolventes empleados en el proceso por vía bacteriana. A finales de 1999 se formó una U.T.E. que engloba a la compañías mineras *Nueva Tharsis S.A.L.*, *Navan Resources y Boliden Apirsa*, además del *ITGE* y el *COIMM*, con el objeto de desarrollar una planta piloto de prueba, que se empezaría a construir a principios del año 2000 en Tharsis. El presupuesto de esta planta es del orden de los 800 Mpta, provenientes en su gran mayoría de las administraciones públicas, que han dado su apoyo a este proyecto a través del *ITGE*.



Grupo de cristales de calcantita con pequeños agregados asociados de romboclasa. Pozo Alfredo (Riotinto). Encuadre de 20 mm. Colección: F. Bernet y P. Fernández. Foto: F. Piña.

BIBLIOGRAFÍA

- INDUSTRIA Y MINERÍA. "Visita Colegio de Ingenieros del Sur a Las Cruces", nº 334, 1998.
- MINING JOURNAL. "Venta del yacimiento de Las Cruces a MK Gold", 10 septiembre 1999.
- CARRASCO MARTIÁNEZ, I. "La minería en Andalucía: Situación actual y perspectivas". 1999.
- RAMÍREZ COPEIRO DEL VILLAR, J. "Los ferrocarriles, el embarcadero de Buitrón en San Juan del Puerto", Huelva Información, 1998.
- ÁLVAREZ MARCOS, J.L. "Revisión crítica de los procesos de beneficio de los sulfuros complejos". Boletín Geológico y Minero, Vol. 107-3 y 4, 1996.
- ALMAGRERA S.A. "Mina Sotiel", 1993.
- PINEDO VARA, I. "Piritas de Huelva", Ed. Summa, 1963.
- STRAUSS, G. et al. "Estudio geoquímico y geológico del yacimiento de sulfuros volcánico-sedimentarios de La Zarza, provincia de Huelva", 1981.
- LIMÓN VEGA, J. D. "Historia de la mina de La Zarza", Documento interno Cía de Minas de Tharsis, 1982.
- LIMÓN VEGA, J. D. "Informe sobre la mina de la Zarza", Documento interno Cía de Minas de Tharsis, 1985.
- CÍA DE MINAS DE THARSIS. "Proyecto de extracción con skips por el pozo nº 5. Mina de La Zarza", Documento interno.
- MAROTO ARANDA, S et al. "Investigación geofísica de yacimientos ocultos". Ingeopress, 1998.
- MENÉNDEZ, A. y ASENIOROS, J. "Mina Sotiel, explotación de masas tumbadas". Rocas y Minerales nº 293, 1996.
- CARRASCO MARTIÁNEZ, I. "Las minas de Riotinto en los siglos XIX y XX". 1998.
- HIDALGO, R. et al. "The geology of Aguas Teñidas East deposit", 1998.
- MINING JOURNAL. "First ore from Aguas Teñidas". 1999.
- DAMIÃO, J. "Caracterização geo-estrutural da jaziga da Estação, Aljustrel". IV Simposio Internacional de Sulfuretos Polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica. Lisboa 1998.
- DOYLE, M. "Las Cruces Copper project, Pyrite Belt, Spain". Boletín Geológico y Minero, vol. 107, 1996.
- PONS, J.M. et al. "Modelo de zonación de Cu, Pb, Zn y Ag en el yacimiento de Los Frailes". Boletín geológico y minero vol. 107, 1996.
- GÓMEZ DELGADO, B. "Corta Los Frailes". Informe ETSIMM, 1998.
- GARCÍA DE MIGUEL, J.M. "Mineralogía, paragénesis y sucesión de los sulfuros masivos de la Faja Piritosa en el suroeste de la Península Ibérica". Boletín geológico y minero, vol. 101, 1990.
- GARCÍA PALOMERO, F. "Estudio geológico de la masa piritosa de San Antonio (Riotinto)" IV jornadas mineras, Bilbao, 1975.
- STRAUSS, G. "Memoria sobre la geología de la provincia piritosa del Suroeste de la Península Ibérica y de sus yacimientos, en especial sobre la piritosa de Lousal (Portugal)". Instituto Geológico y Minero de España.
- CARRASCO MARTIÁNEZ, I. "Mina de Neves Corvo (Portugal)". 1994.
- CAUPERS, D. y SALVADOR, A. "Recuperação de pilares de soleira em Neves Corvo (Técnicas de exploração)". III Simposio Internacional de Sulfuretos Polimetálicos da Faja Piritosa Ibérica. Huelva, 1995.
- OLIVEIRA, J. T., et al. "The Neves Corvo mine and the Paleozoic geology of Southwest Portugal". Geology and VMS deposits of the Iberian Pyrite Belt. SEG Field Conference. Neves Corvo, Guidebook Series, vol. 27, 1997.
- CAUPERS, D. et al. "A exploração do último nível dos pilares de soleira em Neves Corvo". IV Simposio Internacional de Sulfuretos Polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica. Lisboa, 1998.
- LINDQVIST, M. y BYRNE, M. "Preliminary testing for the implementation of paste fill at the Neves Corvo Mine". IV Simposio Internacional de Sulfuretos Polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica. Lisboa, 1998.
- DE SOUSA, J.C.: "Aljustrel Mine Complex" en Tomos F. Et al "The Iberian Pyrite Belt, Joint SGA IAGOD International Meeting Field Trip B4". ITGE-IGM, 1999.
- GALIZA, A. TOSCANO, D. "Implementação do sublevel stoping na mina do Moimho". I Simposio de Sulfuretos Maciços da Faixa Piritosa Ibérica. Évora, 1993.
- LEITÃO, J.C.: "A preliminary note on ore type definition in Moimho and Feitais oprebedies. Aljustrel, Portugal". I Simposio de Sulfuretos Maciços da Faixa Piritosa Ibérica. Évora, 1993.
- LEITÃO, J.C.: "Geology of the Aljustrel Massive Sulphide Deposits". 1997.