

III ACTIVIDADES DE URGENCIA

Volumen 2

ANUARIO ARQUEOLÓGICO
DE ANDALUCÍA / 1999

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA 1999
ACTIVIDADES DE URGENCIA
INFORMES Y MEMORIAS
Volumen 2

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA 99. III-2

Abreviatura: AAA'99.III-2

Edita: Junta de Andalucía. Consejería de Cultura.

Coordinación de la edición:

Dirección General de Bienes Culturales

Servicio de Investigación y Difusión del Patrimonio Histórico

C/. Levies, 17. Sevilla

Tel. 955036600. Fax: 955036621.

Impresión: R.C. Impresores

© de la presente edición: Junta de Andalucía.

Consejería de Cultura. E.P.G.

ISBN: 84-8266-276-7 (Obra completa)

ISBN: 84-8266-279-1 (Tomo III-2).

Depósito Legal: SE-1316-2002-III-2

INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA DE URGENCIA EN EL YACIMIENTO “CANALES DE CEMENTACIÓN” (AZNALCÓLLAR, SEVILLA).

MARCOS A. HUNT ORTIZ

Resumen: Motivado por los planes de expansión minera y financiado por la compañía Boliden-Apirsa, S.L, explotadora de las minas, se ha llevado a cabo el estudio arqueológico del yacimiento denominado “Canales de Cementación”, ubicado en el coto minero de Aznalcóllar (Sevilla).

Esta intervención ha permitido la documentación de un excepcional complejo tecnológico hidrometalúrgico para la producción de cobre por cementación, un método extractivo que fué característico, durante el siglo XIX y primeras décadas del siglo XX, de los depósitos minerales de la Faja Pirítica del Suroeste de la Península Ibérica. Los restos arqueológicos y la investigación histórica han permitido la situación de este yacimiento en sus precisos ámbitos tecnológico y de intereses comerciales de ámbito internacional.

Abstract: Due to the mining expansion plans and funded by the Boliden-Apirsa, S.L., company, exploiter of the mines, an archaeological study has been carried out in the site denominated “Cementation Channels”, located in the mining area of Aznalcóllar (Sevilla).

This intervention has allowed the documentation of an exceptional technological hydrometallurgical complex for the production of copper by cementation, an extractive method which was characteristic, during the 19th. and first decades of the 20th. centuries, of the mineral deposits of the S-W Iberian Peninsula Pyritic Belt. The archaeological remains and the historical research have permitted this site to be situated in its precise technological and international commercial contexts.

1. INTRODUCCIÓN

La Intervención Arqueológica de Urgencia llevada a cabo en el yacimiento denominado “Canales de Cementación”, situado dentro del coto minero de Aznalcóllar (Sevilla), vino motivada por la necesidad que tenía la compañía minera explotadora de las minas, Boliden-Apirsa, S.L., de llevar a cabo grandes obras de infraestructura (relacionadas con la explotación de la corta a cielo abierto de “Los Frailes”) en la zona en la que estaba situado el yacimiento.

La posibilidad de preservar físicamente los restos arqueológicos fué estudiada, pero no se consideró ni factible desde el punto de vista del laboreo minero (no había posibilidad del diseño de planes específicos alternativos) ni realizable en la práctica, ya que las circunstancias del propio yacimiento hacían que estuviera abocado a su cubrición completa por agentes naturales en un plazo corto de tiempo (**Láminas I y II**).



LÁM. I. Canales de Cementación. Vista aérea general.



LÁM. II. Canales de Cementación. Vista general (desde Oeste).

Así, teniendo en cuenta todos esos factores, se tomó la decisión de realizar el estudio arqueológico previo a su cubrición, intervención que fué financiada íntegramente por Boliden-Apirsa, S.L., a cuyos miembros se ha de agradecer la colaboración y facilidades dadas, en especial a D. Antonio Ruiz Castell, D. Francisco Sánchez, D. José Antonio Rufo, D. Angel Maestre y D^a. Agneta Wengelin.

La Intervención Arqueológica en los Canales de Cementación ha sido denominada de forma abreviada CCA/99. Estas siglas, seguidas de su número de inventario correspondiente, han designado a cada uno de los materiales arqueológicos que fueron depositados en el Museo Arqueológico Provincial de Sevilla.

2. ANTECEDENTES

El yacimiento fué detectado e identificado como tal, en cuanto a la investigación arqueológica se refiere, durante las prospecciones arqueológicas que se realizaron en el coto minero de Aznalcóllar en 1992 (HUNT ORTIZ, 1993), limitándose entonces la actuación a la documentación gráfica de los restos visibles y a recomendar su estudio completo en caso de verse afectado por las labores mineras.

Esos restos visibles del yacimiento “Canales de Cementación”, tal y como en la prospección se constató, formarían parte de un sistema hidrometalúrgico de producción de cobre, constituido por diversos elementos constructivos bien diferenciados y que se encontraban destruidos o cubiertos por su parte N. y E. por el denominado “vacie o vertedero Este”.

3. LA INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA

El proyecto de intervención en el yacimiento “Canales de Cementación” fué presentado por vía de Urgencia, como se detalla más adelante, en abril de 1998.

Para la confección del proyecto se visitó el yacimiento en marzo de 1998, haciéndose notar que desde 1992, cuando fué detectado, no se había visto muy afectado por los trabajos mineros, aunque sí todo su entorno inmediato, de forma que el yacimiento se encontraba en una estrecha franja de terreno, en forma de embudo en cuyo fondo se situaba, libre de estériles entre los denominados Vertedero Este y Vertedero Corta, este último situado inmediatamente al O. de los “Canales de Cementación” y cubriendo parte del complejo.

La intervención en el yacimiento “Canales de Cementación” se justificaba desde diversos puntos de vista:

a. Por su interés científico. Es decir, como modelo, con características propias, de una tecnología metalúrgica de extracción de cobre (en uso desde el siglo XVIII hasta mediados del siglo XX) que fué característica en las mineralizaciones de sulfuros complejos de la Faja Pirítica del Suroeste de la Península Ibérica.

A pesar de que este sistema metalúrgico fué durante más de un siglo fundamental en la metalurgia de cobre en las numerosas mineralizaciones de esa área geológica, no existía un sólo caso en que los restos hubieran sido estudiados con una metodología arqueológica. De hecho, en la casi totalidad de las ocasiones, las infraestructuras de cementación habían sido destruidas sin que se realizara ningún tipo de estudio previo.

b. Por especificidad y estado de conservación. En el caso concreto de los “Canales de Cementación” de Aznalcóllar resultaba evidente que mostraba una tipología única, consecuencia de su adaptación a la topografía particular de la zona. Así, presentaba un diseño específico y era posible, por su aparente buen estado de conservación, la documentación pormenorizada de este complejo tecnológico minero-metalúrgico.

c. Por el riesgo inminente de destrucción. Desde luego, el factor decisivo que hacía obligada la Intervención Arqueológica de Urgencia era la cubrición de esa zona, al unirse los mencionados vertederos de estériles.

En cuanto al diseño general, la intervención se planteaba de forma que se llevara a cabo el estudio íntegro y la documentación completa del yacimiento “Canales de Cementación”, así como su explicación funcional global.

Para ello, esencialmente, se procedería a la excavación de áreas transversales (orientación E.-O.) con la finalidad de obtener los detalles concretos sobre la estructura y cada una de sus partes, tanto en cuanto a las características constructivas como a los elementos tecnológicos que pudieran aparecer en ellas.

Esto se complementaría con la realización de sondeos en todos aquellos puntos en que fuera necesario para la confección precisa de los levantamientos planimétricos. Además, en base a los restos visibles en superficie, se contó con la necesidad de realizar un estudio específico de las estructuras de madera que parecían componer los canales propiamente dichos, por lo que se amplió el equipo con la participación de un especialista en antracología.

A la intervención de campo, según el proyecto, seguiría la fase de estudio de laboratorio, en la que serían estudiados los datos obtenidos y en la que esos se complementarían por medio de estudios específicos y de la investigación de las fuentes planimétricas, documentales y bibliográficas.

Mediante todas esas acciones expuestas, como se ha dicho, se obtendría no sólo el registro y documentación del yacimiento, sino también su ubicación en su contexto histórico-tecnológico.

Con los contenidos generales expuestos, la solicitud para la Intervención Arqueológica de Urgencia en el yacimiento “Canales de Cementación” de Aznalcóllar (Sevilla), fué presentada el 3 de abril de 1998, aprobándose por resolución de la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía con fecha 20 de abril de 1998.

Sin embargo, debido a la rotura de la presa de residuos, el día 25 de ese mismo mes de abril de 1998 la actividad minera se suspendió indefinidamente, por lo que dejaron de darse las circunstancias de peligro sobre el yacimiento, solicitándose, con fecha 15 de mayo de 1998, la suspensión indefinida de la autorización.

En el mes de abril de 1999 se reinicia la actividad minera y, por tanto, vuelven a darse las circunstancias que hacían necesario el estudio del yacimiento, iniciándose finalmente la intervención el 19 de abril de 1999, concluyéndose los últimos trabajos el 27 de mayo de 1999.

El equipo que ha participado en la Intervención ha estado compuesto, en la fase de campo por el Dr. Mark A. Hunt Ortiz -director-, D^a Carmen Franco y D^a Lola Salido

-planimetría arqueológica- y los operarios D. Pedro José Ruiz y D. José Antonio Almendral. En la fase posterior de estudio colaboraron D. Pedro Mora -dibujo arqueológico-, D. Paulino Palma -asesor de conservación preventiva -, Dra. M^a Oliva Rodríguez -antracología-, D. M. Vivanco -estudio archivístico en Edimburgo-, Prof. Angel Polvorinos -análisis de XRD- y D. José Antonio Rufo -análisis de AA y pH-.

La metodología empleada fué la especificada en el Proyecto de Intervención. Se establecieron en primer lugar tres áreas de excavación transversales, de forma que quedaran incluidos todos los posibles canales, con el fin de determinar su número, características, recorrido, dirección e inclinación. Además se intervino en diversas zonas concretas (interior de la presa, área

de salida de aguas de la presa, área N. del yacimiento, Límite N. de los Canales 6 y 7, Zona de límite S. de los Canales 1,2 y 3, Zona límite S. de los Canales 4 y 5, Zona S.-O. del yacimiento, al exterior de los Canales 7,8 y 9, y en diversos puntos concretos del recorrido de los Canales) para definir con precisión las estructuras y realizar la planimetría general del yacimiento y de detalle de zonas seleccionadas. La planimetría fué realizada en su parte fundamental simultáneamente al desarrollo de la intervención, utilizándose una Estación Total con programa informático, complementada con un Nivel NA824.

La cota utilizada como referencia en esta intervención es la cota topográfica absoluta (referida al nivel medio del mar en Alicante) correspondiente a la parte superior de la estructura más elevada conservada (presa de decantación), a 67.83 m. Las cotas reflejadas en la planimetría están referidas a esa cota, por lo que todas son positivas.

El registro gráfico, además de la diversa planimetría general y de detalle, ha consistido fundamentalmente en la documentación fotográfica exhaustiva del yacimiento y del proceso de excavación, incluyendo fotografía aérea, así como la reproducción fotográfica de la planimetría histórica referida al yacimiento. A esta documentación fotográfica hay que añadir la que se disponía de este yacimiento de intervenciones realizadas con anterioridad, lo que da una visión evolutiva de los últimos años.

Al mismo tiempo que se desarrollaba la intervención se revisó la documentación planimétrica histórica referida a las

minas de Aznalcóllar ya recogida en intervenciones anteriores. Los datos que proporcionaba se intentaron complementar y ampliar con una nueva búsqueda de datos planimétricos no conocidos, para lo cual fué muy beneficioso y simplificó la tarea la reciente catalogación e inventariado informatizado del archivo de la compañía minera. Uno de los objetivos de esta investigación era agotar la posibilidad de obtención de información no evidente o perdida que ayudase, en su desarrollo, a la elección de zonas de intervención.

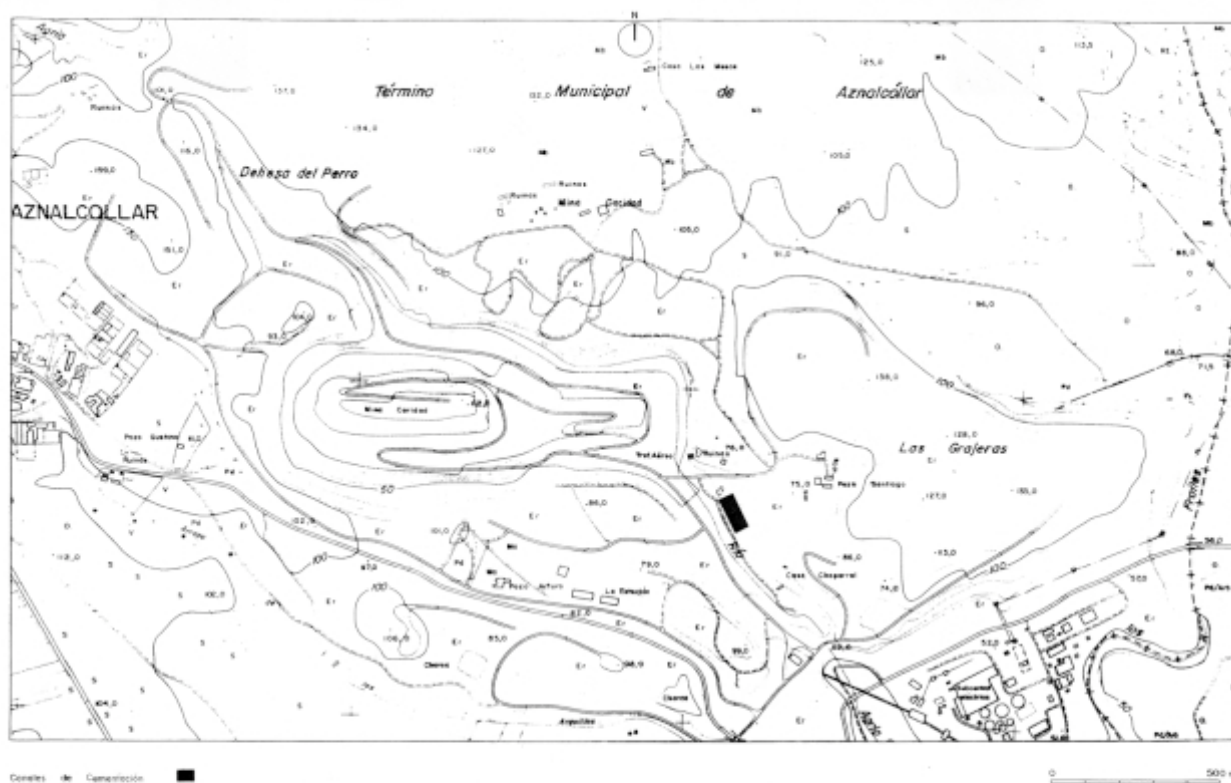
Concluido el trabajo de campo, en la fase de laboratorio se finalizó la búsqueda y revisión de datos procedentes de archivos y de la bibliografía disponible.

En esta fase también se sometieron las muestras seleccionadas a distintos tipos de análisis y estudios específicos.

Una vez recopilados los datos y los resultados de los distintos estudios llevados a cabo, se han puesto en relación con el propio yacimiento, de forma que se ha intentado obtener una visión íntegra de los restos arqueológicos, explicar su funcionalidad e inscribirlos en su contexto tanto histórico como tecnológico.

4. LOCALIZACIÓN DEL YACIMIENTO

Los restos que componen el yacimiento denominado “Canales de Cementación” se encuentran situados en término municipal de Aznalcóllar (**Plano 1**) a unos 200 metros al



PLANO 1. I.A.U. Canales de Cementación (CCA/99) Minas de Aznalcóllar (Sevilla). Plano de Situación.

Sureste de la vieja corta minera Aznalcóllar, en la margen izquierda del antiguo cauce del río Agrio, en la misma ladera Oeste que actualmente constituye el denominado Vertedero Este. Las coordenadas UTM son: 29 SQB 7442 41556, de la Hoja 11-39 (961) del Mapa Militar de España. Escala 1: 50.000.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS RESTOS ARQUEOLÓGICOS

Para la descripción de los restos documentados del yacimiento arqueológico “Canales de Cementación” se ha utilizado la terminología metalúrgica contemporánea, cuyo significado se precisa más adelante.

Estos restos formaban parte de un complejo metalúrgico de grandes proporciones donde se llevaban a cabo los distintos procesos necesarios para la obtención de cobre por vía húmeda y del que sólo se ha conservado las partes donde se realizaban las últimas fases del proceso metalúrgico.

Una de las estructuras conservadas correspondía a una presa, balsa o pilón reposador (como será denominado en adelante), seccionado en su parte N. y casi completamente colmatado su interior por estériles pertenecientes al Vertedero Este. Así, sólo era visible su muro de contención O., reforzado por contrafuertes (cuyos espacios intermedios también fueron rellenos de mampostería en un momento posterior) en su exterior.

Este reposador comunicaba, a través de una salida, con la otra estructura conservada, la denominada “canales de cementación” o “canaleo”: una serie de canales dispuestos, a cota inferior, en zig-zag. El sistema de canales estaba destruido en su ángulo N-O., mientras aparecía colmatado su parte E,

en su límite, por los estériles del vacie citado. Los canales individuales que componían el sistema, dispuestos de N. a S., fueron numerados (de cota superior a cota inferior) para su mejor descripción (**Planos 2 y 3**).

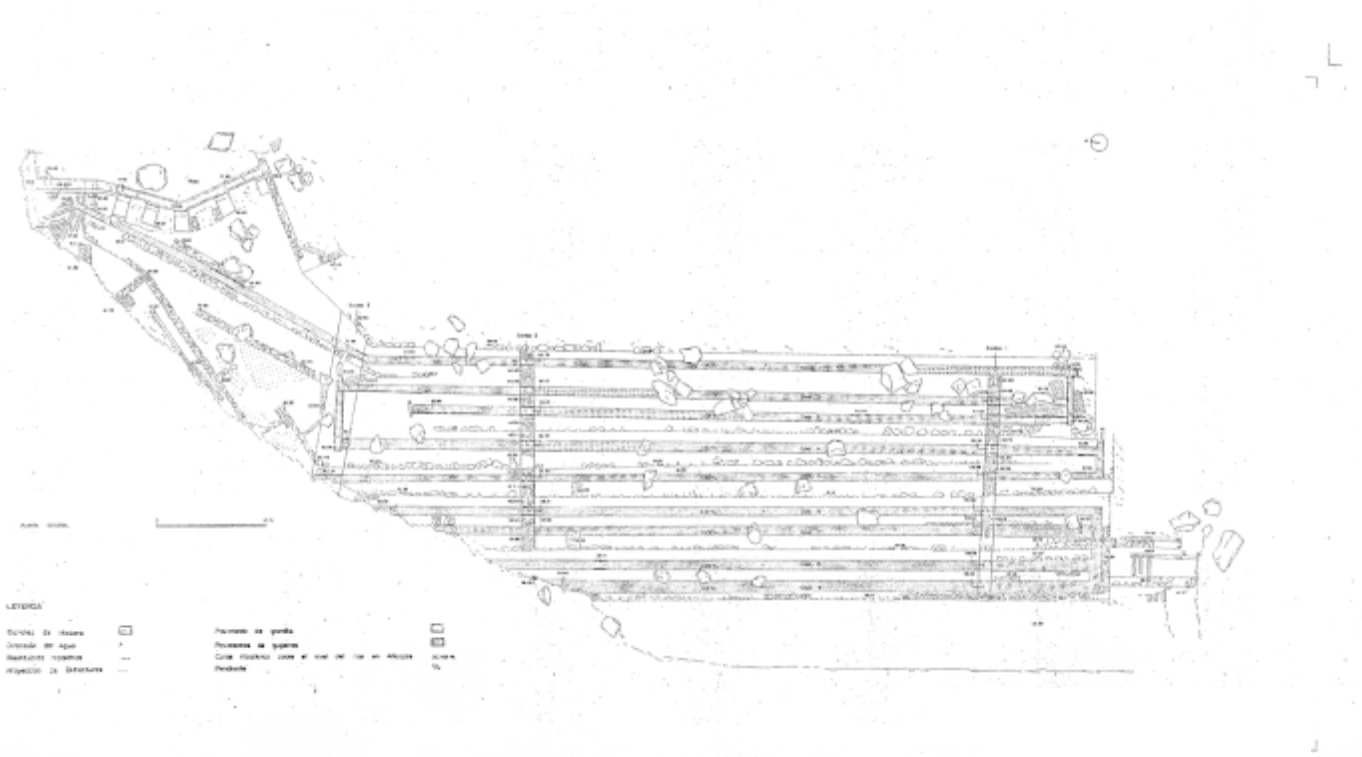
En las líneas siguientes se describen los restos excavados y documentados pertenecientes a estas dos estructuras: pilón reposador y canaleo.

* Pilón reposador

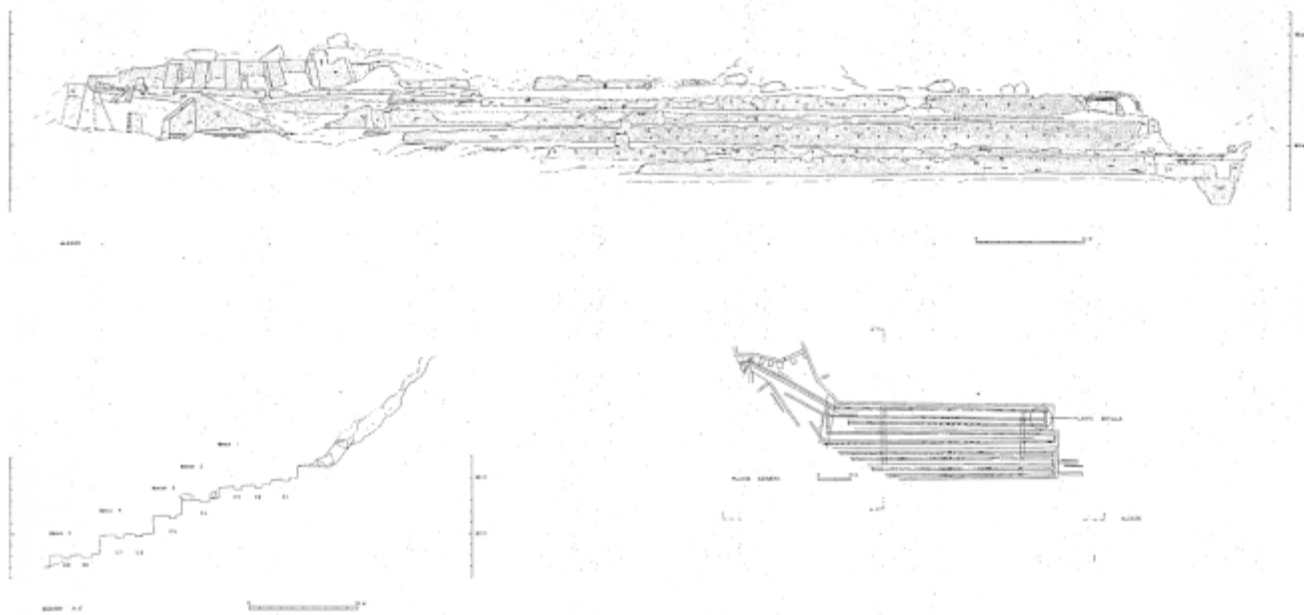
El pilón reposador, como se ha indicado, se localizó en el límite N.-E. del yacimiento, encontrándose seccionado por su parte N. y completamente colmatado por derrubios en prácticamente todo su interior y parte S., de forma que el estudio se centró en su muro de contención (conservado en una longitud de algo más de 21 mts.), realizado con piedras unidas con argamasa y reforzado por su exterior por una serie de 5 contrafuertes, cuyos espacios intermedios también fueron reforzados, con posterioridad, mediante su relleno con fragmentos de roca a hueso.

La cota superior del muro conservada es de 67.89 mts., sirviendo su superficie de coronación como base de un canal con caída de agua (procedente del S. mediante un conducto subterráneo) hacia el N. (Planos 2 y 3).

En el interior del reposador sólo fué posible realizar un pequeño corte arqueológico en su ángulo N.-O.. En este corte, el suelo apareció a una cota de 65.43 mts., lo que supone que la balsa tenía una profundidad en torno a los 2.3 mts. Las uniones del suelo con las paredes estaban reforzadas por un bisel de argamasa, estando el suelo realizado por una potente y fortísima capa de hormigón (con guijarros), que adquiriría aún mayor potencia bajo el muro de contención.



PLANO 2. I.A.U. Canales de Cementación (CCA/99) Minas de Aznalcóllar (Sevilla). Planta General.



PLANO 3. I.A.U.Canales de Cementación (CCA/99) Minas de Aznalcóllar (Sevilla). Alzado-Sección.

Sobre el suelo se encontraba una potente colmatación, en la que se diferenciaron 4 estratos:

- Cotas 65.43 a 65.53: sedimento limoso gris a verdoso oscuro (Muestras A y B).
- Cotas 65.53 a 65.67: sedimento más arenoso gris claro.
- Cotas 65.67 a 66.07: Rocas rojizas procedentes del vacie.
- Cotas 66.07 a 66.42: Roca y tierra gris procedentes del vacie.

La salida de agua del reposador se localizó en la parte inferior de la zona más septentrional (al N. de los contrafuertes exteriores) del muro de contención. Consistía en una abertura cuadrangular (60x50 cms.) (Plano 3) que debía abrirse y cerrarse por el interior de la balsa y que comunicaba con los canales a través de una “arqueta” con suelo de madera.

En realidad, la salida de aguas del pilón reposador conectaba con tres canales (**Lámina III**):

- Canal 1, de madera, que conducía el agua hacia el S, al complejo de canaleo.
- Un canal realizado en obra de ladrillo y mampostería, con suelo de ladrillo, con pendiente hacia el N. Sólo se conservaba en un pequeño tramo (Muestras C y D).
- Un canal muy deteriorado, también realizado en ladrillo, que, con una fuerte pendiente, se dirigía hacia un punto no determinado, al O.

* Canaleo

El canaleo se dispone a cota inferior del pilón reposador (Planos 2 y 3). El complejo está constituido por una serie de 9 canales abiertos, de madera y sección rectangular (60 cms. de anchura y en torno a 25 cms. de profundidad) dispuestos de manera sucesiva N.-S., en forma de zig-zag (Lámina II).



LÁM. III. Detalle de salida de Canales desde Pílon Reposador.

Para la disposición de estos canales la topografía original de la ladera tuvo que ser adaptada previamente, lo que supuso la realización de una obra de considerables dimensiones para allanar el terreno y realizar los muros de contención de tierras para formar las tres grandes plataformas (así diferenciadas por presentar dimensiones diferentes), aunque, para poder dar la inclinación precisa a cada uno de los canales, estas plataformas fueron subdivididas en lo que se ha denominado “bancales” (Plano 2).

La Plataforma más elevada, que coincide con el denominado Bancal 1, contiene los Canales 1,2 y 3 (**Lámina IV**), siendo su superficie, a lo largo de toda su extensión, de cota similar. Es la única plataforma que se puede considerar como tal. El Canal 1 tiene la particularidad de que se prolonga por su parte N. hasta llegar a la salida de aguas del pilón reposador



LÁM. IV. Detalle de Canales 1, 2 y 3 y andenes.

. Desde ese punto hasta su límite S. el Canal 1 tiene una longitud de 95.5 m., yendo su suelo desde la cota 64.97 en su extremo N. a la cota 64.51 en su extremo S. Tiene, por tanto, una pendiente hacia el S. en torno al 0.48%.

Otra particularidad del Canal 1 es que en él se documentaron dos salidas de agua por su lado O., una a 14 m. de su inicio, sin conexión, y otra en la zona del Sondeo 3, que conectaba el Canal 1 con los canales de cota inferior.

Salvo zonas concretas en que se vió afectado por la erosión o por los impactos de rocas caídas del Vacie Este, los resultados de la excavación indicaron que el canal parecía conservarse, aunque completamente cubierto de tierra, a lo largo de todo su recorrido.

El Canal 2 presentaba su inclinación hacia el S., como también el Canal 3, teniendo unas pendientes, respectivamente, del 1.03% y del 0.68%.

Este Canal 2, con una longitud de 66.5 mts., presentaba un estado de conservación similar al Canal 1. El Canal 3 debió tener originalmente una longitud igual al Canal 2, pero al excavar esa zona, se constató que en su parte final N. había sido desmantelado en una longitud de 6 mts. El desmantelamiento se llevó a cabo con los canales en funcionamiento, ya que el canal de conexión transversal al que desagaba fué reformado y el propio canal fué rellenado con piedras formando una superficie homogénea, enrasada con

los andenes laterales, de forma que sirvió para ampliar el andén.

Al final del tramo conservado del Canal 3 se encontraba el travesaño de madera o "durmiente" (Plano 2) en el que se apoyaba el canal y cuya funcionalidad precisa se trata más adelante.

Además, de la parte S. del Canal 3 se extrajo y fué objeto de depósito una sección de 70 ctms. de canal (CCA/99-15).

La plataforma intermedia contenía los Canales 4 y 5 (Plano 2). Aunque más que de plataforma (que se ha denominado así por ser por su parte S. más larga que las otras plataformas) habría que hablar de dos superficies en rampa, Bancal 2 y 3, para dar inclinación a los canales. De esa forma, el Bancal 2 contendría el Canal 4 (con inclinación hacia el S. y pendiente del 1.62%), mientras el Bancal 3 contendría el Canal 5 (que muestra inclinación al N. y pendiente del 1.20%) (**Lámina V**).

El Canal 4 parecía conservarse en toda su longitud, que era de 69 mts.; el único dato que no pudo determinarse fué el origen del Canal de conexión transversal con el que comunicaba en su final S., que más adelante se comenta.

La estructura de madera del Canal 5 también se encontró en todos los sondeos abiertos. Sus dimensiones originales exactas no se conocen ya que, al igual que todos los canales de cota más baja (Canales 6 a 9), se encontraba seccionado en su parte N.



LÁM. V. Detalle del Canal 5.

La longitud conservada era de 71.5 mts. Los datos de la planimetría histórica indican que su longitud, al igual que el resto de los canales de cota inferior, era escasamente mayor a la conservada.

La plataforma de cota más baja repetía la disposición general de la plataforma intermedia. Está subdividida en dos superficies en rampa (Bancales 4 y 5) de inclinación opuesta pero, como característica específica, cada una de estas rampas contenía originariamente dos canales con la misma inclinación. Así, el Bancal 4 contenía los Canales 6 y 7 (los dos con inclinación al S. y pendientes respectivas del 0.41% y 0.73%), mientras el Bancal 5 servía de base para los Canales 8 y 9 (ambos con inclinación N. y pendientes del 0.82% y del 1.02%).

El Canal 6, destruido en su parte N., sólo se detectó en el tramo desde el Sondeo 2 hacia el N. (unos 16 mts.), habiendo sido desmantelado en todo el resto de su longitud original.

El Canal 7 se encontraba desmantelado en casi toda su longitud, sólo conservándose en el extremo N. (también seccionado), mientras en el extremo S. los únicos restos que se detectaron correspondían a los durmientes de madera donde se apoyaba el canal.

El Canal 8, también seccionado en su parte N., sólo presentó una pequeña zona conservada.

Peor situación aún mostraron los restos del Canal 9, del que sólo quedaba, en su final N. uno de los durmientes de madera en que se apoyaba el canal.

Como ya se ha mencionado, los canales estaban conectados en sus extremos por cortos canales transversales, (dispuestos de E. a O.) (Planos 2 y 3) que han sido denominados Canales de Conexión Transversal, con pendientes más acusadas.

En el límite Sur de los canales (que era el que se conservaba íntegro) la conexión mediante esos canales transversales se establecía en 3 grupos, coincidiendo con las 3 plataformas: Canales 1,2, 3; Canales 4 y 5; Canales 6,7,8,9.

En lo que se refiere al límite Norte, los tramos finales de los Canales 5, 6, 7, 8 y 9 estaban ya destruidos cuando se inició la intervención arqueológica, por lo que su conexión transversal sólo puede ser restituída a través de los datos que proporcionan los planos históricos mineros. Los Canales 1, 2, 3 y 4, se encontraban conectados (aunque el Canal 3 se encontró inutilizado) por un Canal de Conexión transversal en su límite N. (dentro del área del Sondeo 3). Este canal de conexión, con una pendiente muy acusada (6%), estaba realizado con ladrillos en el tramo entre los Canales 1 y 2, mientras en el tramo entre los Canales 2 y 4 era de madera.

La mayoría de los tramos de canales estudiados presentaban una sedimentación limosa de color grisácea sobre el suelo (Muestra H), similar a la excavada en el interior del pilón reposador.

Así, en general, el canaleo, teniendo en cuenta la cota del suelo de los canales, estaba dispuesto con una diferencia de cotas de 6.72 mts, entre la cota 64.97 (suelo del inicio del Canal 1) y la c. 58.18. La longitud total de los canales de madera superaba los 650 mts. (en torno a 657 mts. sin tener en cuenta los canales de conexión transversal).

Los canales, a lo largo de toda esa longitud, estaban flanqueados (casi se podría decir que enmarcados) por unas superficies homogéneas, andenes, pavimentadas mediante la-

jas de pizarra o cantos rodados (Láminas IV y V). La superficie así obtenida, que ocupaba el espacio entre canales y el espacio entre canales y muros (estando integrada la coronación de muros también en esas superficies) serviría de suelo de trabajo a los operarios que llevaban a cabo las distintas operaciones metalúrgicas en los canales.

Canales: estructura y construcción (Plano 4)

Los canales longitudinales en toda su extensión, estaban realizados exclusivamente con madera (**Plano 4**). La madera, aunque presentaba un aparente buen estado, al ser expuesta por la excavación sufría un deterioro espectacularmente rápido.

Todos esos canales presentaron unas características muy homogéneas, con medidas estandarizadas. El fondo estaba formado por 3 o 4 tablones (de anchura variable, siendo una medida común la de 3 tablones de 28 ctms., 7 ctms. de grosor, y longitud de hasta 5.94 mts). Entre los tablones del fondo, para su perfecto acople, se disponía una tela bastante basta (que no ha sido identificada, pero que parece de fibra vegetal) embreada. La unión entre esos tablones se realizaba mediante clavijas de madera cilíndricas, de 2.5 ctms de diámetro, con la cabeza a veces cuadrangular (c. 3.3 x 3 ctms.).

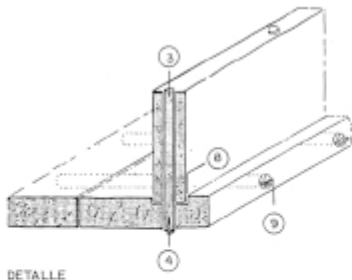
Estas clavijas se introducían en las perforaciones ya realizadas en los tablones y se fijaban en su posición mediante cuñas de madera situadas en ambos extremos. Las cuñas de madera eran rectangulares, tenían 1 ctm. de anchura y en torno a los 5.5 ctms. de largo. Mientras la cabeza de fondo sobresalía, el extremo opuesto estaba cortado a ras del tablón. El efecto de la cuña era el ensanchamiento del diámetro de la clavija, asegurándose así la unión permanente entre los tablones que componían el suelo.

Esas clavijas en el suelo se disponían habitualmente a una distancia de 40 ctms., aunque a veces y en zonas concretas era acortada.

A unos 4 ctms. hacia el interior del borde, en la parte superior de los tablones laterales del fondo, se realizaba un cajeadado corrido; en ese cajeadado se disponía la tela embreada y sobre ella un tablón en vertical (de 7 ctms. de grosor, sobre 22 ctms. de altura y de la misma longitud que los del suelo) que se fijaba al suelo de madera de la misma forma: mediante clavijas con cuñas de refuerzo, pero dispuestas de tal forma, también cada 40 ctms., que a mitad de distancia entre dos clavijas del suelo se disponía la de la pared (Plano 4).

Resultó claro que los canales eran ensamblados en secciones que, una vez montadas, se depositaban directamente sobre unos travesaños de madera, o durmientes, dispuestos cada 2 mts. (salvo en los puntos de unión entre secciones de canales, en los que se disponían al final de una sección y al principio de la siguiente) y con una cota predeterminada para dar al canal la inclinación y pendiente deseadas.

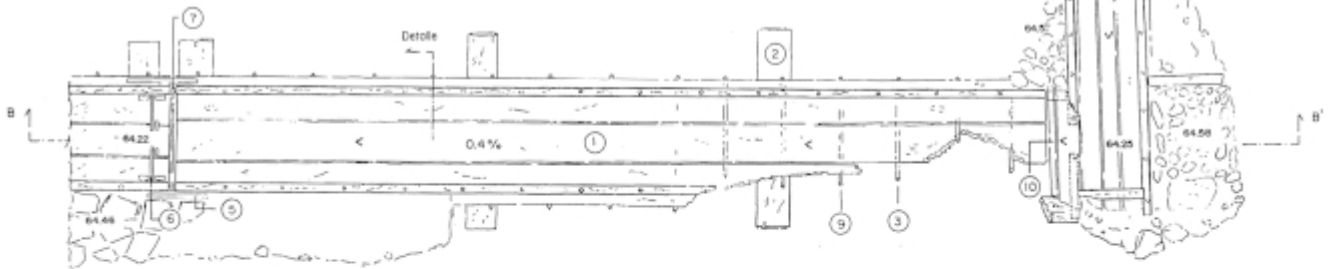
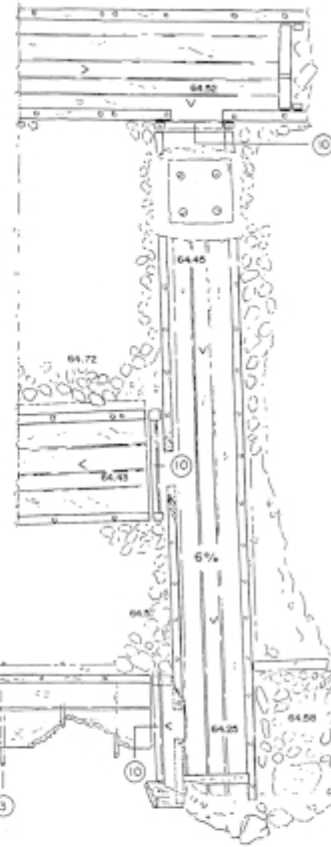
Las distintas secciones se iban acoplando, poniendo una "tabla de unión" (quizás también funcionando como junta de dilatación) entre ellas y reforzando la unión de las paredes mediante la colocación por el exterior de una tabla de refuerzo (c. 4 cmts. de grosor y 40 ctms. de longitud). Por los restos que quedaban en el suelo de los canales estudiados, la zona de unión entre esas secciones eran, además, embreadas.



DETALLE

LEYENDA

Talón	1
Travesaño	2
Clavija	3
Cuñas de refuerzo	4
Tabla de refuerzo	5
Tablero de regulación de agua	6
Tabla de unión	7
Ensamble por cajado con clavija de refuerzo	8
Ensamble por clavija con cuñas de refuerzo	9
Ranura para compuerta	10
Pendiente	5‰
Cotas Absolutas	64.22



PLANTA



SECCION B-B'

0 2m

Como característica particular, en los puntos de contacto entre los canales longitudinales y los canales de conexión transversal se disponían unas reglas que servirían para colocar tablas e impedir el paso del agua, aislando de esa forma tramos o toda la longitud de los canales longitudinales.

Por otra parte, en uno de los tramos del Canal 3 estudiados se excavó un dispositivo de regulación de agua consistente en el estrechamiento del canal mediante tablillas, también ensambladas con vástagos y fijadas por medio de tacos de madera.

Así, una vez montadas en su posición definitiva todas las secciones que componían el canal, el exterior era rellenado con tierra y, una vez alcanzada la cota superior de la pared del canal, se realizaban las superficies, bien de lajas de pizarra o bien de empedrado, que servían de andenes. De esta forma quedaba perfectamente fijado el canal, fijación que aún era más estable por las pestañas sobresalientes del suelo del canal.

Como se ha mencionado, la construcción de las distintas partes que conformaban el sistema de producción de cobre por cementación conllevaron la adaptación previa de la topografía original mediante el aterrazamiento de la ladera. Para ello se levantaron tanto muros, de pizarra, para contención de tierras exclusivamente, a veces con una gran potencia, y muros que, además de contenedores servían de límite para las distintas plataformas y banales. Estos últimos muros, además de pizarra, presentaban algunos ladrillos reaprovechados dispuestos anárquicamente. En estos muros se habían practicado aberturas rectangulares (con forma de mechinales) dispuestas en 1 o 2 líneas para la evacuación de aguas (Plano 3). Los mampuestos estaban unidos por una argamasa rojiza, coloración debida al uso de tierra gossanificada local.

Además del pilón reposador y del canaleo, otras tres zonas fueron estudiadas puntualmente (Plano 2):

-Toda la parte al O. del pilón reposador (también al O. del tramo más septentrional del Canal 1), donde se detectaron la coronación de muros de gran potencia, estructurales de contención, seccionados por su parte N. En su parte superior formarían rampas que sirvieron de conexión entre las distintas partes, conservándose en algunos puntos restos de lo que se ha interpretado como pavimentos de gravilla.

A cota inferior, a nivel del fondo del arroyo actual, se detectaron unos restos de empedrados (cota 61.39) situados en un espacio limitado por dos muros en ángulo recto. Por la documentación histórica se considera que estos restos están relacionados con la estructura denominada "Lavadero", de la que esos son los únicos restos conservados.

-Por otra parte, la funcionalidad precisa de las estructuras murarias y solerías situadas inmediatamente al S. del pilón reposador no pudo ser precisada, aunque la detección allí de restos de hierro mineralizado y tierras negruzcas (Muestra E) hace asegurar que en esa zona se realizarían tareas directamente relacionadas con la producción de cobre por cementación. De esta zona proceden los ejemplares de tejas plana "tipo inglés" documentados, CCA/99-10 y CCA/99-13 (Figura 1), la primera de ellas fabricada en Marsella.

-Finalmente, la tercera zona estudiada se sitúa adosada al exterior (al S.), de la Plataforma 3. En esa zona se descubrió una especie de amplia escalinata de ladrillos y lajas de pizarra y donde también se emplearon travesaños de madera. Esta

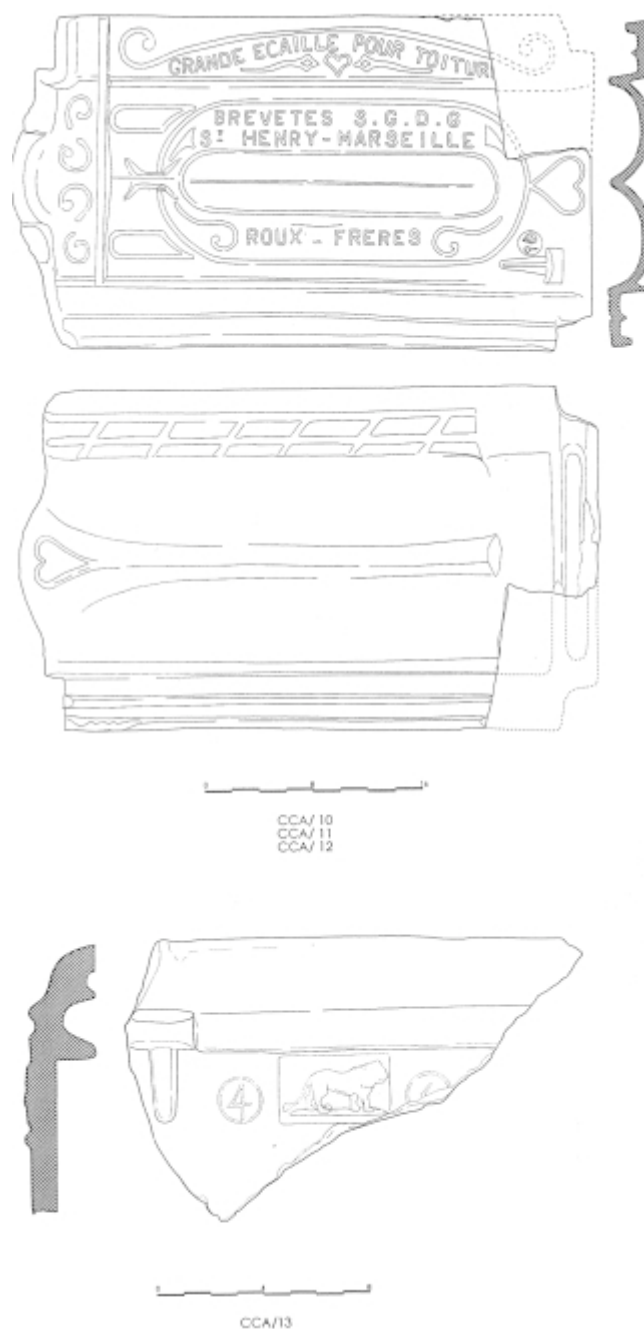


FIG. 1. Canales de Cementación (CCA/99). Tejas documentadas.

escalinata estaba seccionada por el S. por un profundo socavón producido por erosión; por el E. tampoco se pudo determinar su límite por estar cubierta la zona por el Vacie Este. El límite O. parecía constituirlo un potente muro de pizarra (sin duda también con función de contención de tierras), expuesto en el socavón mencionado, estando su parte superior a cota 58.43, y la inferior (aunque continuaba en profundidad) a 54.97.

6. ESTUDIOS ESPECÍFICOS

Una vez finalizada la intervención de campo, distintos restos arqueológicos seleccionados fueron sometidos a estudios

específicos: la madera, los ladrillos y una selección de muestras minerales para su análisis.

-Estudio Antracológico

De distintas partes de los canales fueron seleccionadas muestras de madera, con el objetivo básico de la identificación de las especies arbóreas utilizadas y, en su caso, determinar si maderas de especies determinadas eran empleadas para la realización de piezas específicas.

Otro dato que se pretendía corroborar era la posible importación de la madera. Esa posibilidad se consideró por dos motivos: por un lado, en el yacimiento se habían detectado objetos de clara procedencia foránea (ladrillos traídos de Escocia), por otro lado, en la bibliografía referida a la minería de la Faja Pirítica a fines del siglo XIX y principios del siglo XX no es extraño encontrar referencias a la importación de maderas por compañías mineras, mayoritariamente británicas, para su empleo en construcciones minero-metalúrgicas. Por ejemplo, se conoce que la compañía The Rio Tinto C^o Ltd. utilizó pino tea (pitch pine) y pino rojo del Báltico (Baltic red wood). Con más relación, como se explica más adelante, con la compañía minera de Aznalcóllar y también como ésta con sede en Escocia, la compañía The Tharsis Sulphur & Copper C^o Ltd. importó todo el material técnico para la construcción de su ferrocarril (que entró en servicio en 1871), incluyendo las traviesas de madera, que eran de pino de Escocia (Scotch pine) (GONZALEZ VILCHEZ, 1981: 59, 65,308).

Por medio del estudio antropológico llevado a cabo se han identificado tres tipos de especies arbóreas, todas pertenecientes a la familia "Pinus": *Pinus sylvestris*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*.

Según los resultados de las muestras analizadas, con "Pinus pinea" (pino piñonero) se realizaron las tablas que componían el suelo de los canales, así como también los durmientes donde se apoyaban los canales.

Con madera de "Pinus sylvestris" (también denominado pino albar y pino escocés) se construyeron la pared de los canales, las compartimentaciones internas y los refuerzos exteriores en la unión entre secciones de canales.

Finalmente, con madera de "Pinus pinaster" (pino marítimo), se realizaron todas las clavijas o vástagos sometidos a estudio (9 muestras) y también la tabla "de unión" entre secciones de canal.

No olvidando la relativa representatividad de parte de las muestras, parece que clases específicas de madera se utilizaron para la fabricación de determinadas partes de los canales. El caso más claro es el de las clavijas y vástagos, realizadas exclusivamente con madera de "Pinus pinaster".

Geográficamente, todas las especies arbóreas utilizadas se dan en la región andaluza, por lo que pueden tener una procedencia local/regional, por lo que no es posible establecer el origen de la madera de "Pinus sylvestris". Es decir, su posible origen regional (desde luego, por su nicho ecológico, lejano) o su importación de Escocia junto con otros elementos, queda, de momento, sin determinar. Lo que sí está bien constatado es que la variedad de "Pinus sylvestris" denominada Pino escocés (Scotch fir/pine), que se da en Escocia,

tenía una madera muy considerada por su durabilidad, siendo muy utilizada para travesaños de vías férreas, madera para minería, etc. Esta demanda hizo que en Escocia, desde el S. XIX, se cortaran anualmente gran cantidad de estos árboles, que eran repuestos mediante la plantación artificial de enormes cantidades de especímenes obtenidos en viveros (The Encyclopaedia Britannica, 1911, Vol. 21).

Sólo se mencionará como dato adicional que en las investigaciones realizadas con anterioridad en Aznalcóllar (HUNT ORTIZ, 1993), en la denominada Zona de Minería Antigua, la madera utilizada para entibación en las galerías de las minas denominadas 4,5 y 6 (de similar cronología a los canales de cementación), fué identificada como de otra especie de pino, *Pinus Halepensis*, que se da en climas mediterráneos.

- Estudio de los ladrillos refractarios

Durante el desarrollo de la excavación fueron descubiertos, a veces fuera de contexto y otras integrados en los muros de contención de los canales, una serie de ladrillos importados de Gran Bretaña, con marca de fabricante, que por el aspecto de su pasta parecían refractarios. La tradición de marcar los ladrillos en Gran Bretaña queda claramente reflejada en algunas colecciones, como la reunida por H. Holt, con más de 7.000 ejemplares diferentes.

En los Canales de Cementación de Aznalcóllar se han documentado 8 tipos de marcas de fabricante distintas (**Figura 2**), que son:

CCA/99-1. GARTCRAIG (23x10.9x6.4 cm) Pasta porosa clara con mucho desgrasante (c.3mm) gris claro y abundantes puntos negros.

CCA/99-2. COWEN (22.6-no completo-x11.2x6.3 cm.) Pasta porosa anaranjada con mucho desgrasante (hasta 5 mm), gris claro.

CCA/99-3. WILSON & SON-BARLINNIE (22.9x11.4x6.3 cm.) Pasta porosa anaranjada con desgrasante muy abundante (c.3 mm) y puntos negros (máx. 2 mm).

Los ladrillos con esta marca de fabricante eran, con mucha diferencia, los más frecuentes.

Su particularidad es que, junto al nombre de la compañía fabricante aparece la localidad de origen: Barlinnie, una población inmediata a Glasgow (Escocia), en la que ya en 1886 aparece una fábrica ("Fireclay Works") de ladrillos refractarios.

Es interesante destacar que esa fábrica de ladrillos se situaba inmediata a un pozo de carbón y con numerosas canteras de extracción de arcilla en los alrededores. La relación entre vetas de carbón y arcilla refractaria será tratada un poco más adelante.

En cuanto a la compañía fabricante de esos ladrillos, Wilson & Son, se ha podido conocer que pertenecía a un socio y colaborador de William Henderson, persona que creó la Seville Sulphur & Copper C^o Ltd., con sede en Glasgow. Estos datos serán expuestos en el epígrafe concerniente a las minas de Aznalcóllar.

CCA/99-4. ROSHEE SEVILLA (22.8x11.35x5.9 cm.) Pasta compacta marrón clara con desgrasante que parece ser cuarzo (< 2mm).



CCA/99-1



CCA/99-2



CCA/99-3



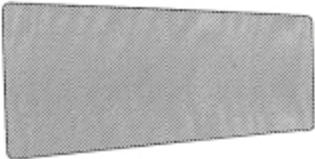
CCA/99-4



CCA/99-5



CCA/99-6



CCA/99-8



CCA/99-9

FIG. 2. Canales de Cementación (CCA/99). Ladrillos documentados.

Este tipo de ladrillo resultó ser el segundo en frecuencia de aparición y también mostraba junto al nombre del fabricante, Roshee, el lugar de fabricación, Sevilla. Es, así pues, el único ladrillo fabricado en la zona (aunque sea por un fabricante de origen británico, como se deduce de su apellido).

Tiene este ladrillo, por otra parte y como se vé un poco más adelante, características mineralógicas particulares, que habrá que indagar si se pueden poner en conexión con el dato de que a principios del siglo XX, entre los productos minerales que se producían en la provincia de Sevilla se mencionaba el silicato de aluminio (The Encyclopaedia Britannica, 1911, Vol. 24; voz Sevilla).

CCA/99-5. SM & C^o (23x11.5x7.6 cm.) Pasta porosa blanquizca con desgrasante abundante (c.3mm) de tono más blanco.

CCA/99-6. LUCAS (23.5x11.7x6.4 cm) Pasta porosa blanca con mucho desgrasante pequeño (< 2mm).

CCA/99-8. ...& M (dovela fragmentada ?x11.7x 6.1 a 4.3) Pasta porosa gris-blanquizca mucho desgrasante (c.4mm).

CCA/99-9. BUT... (fragmentado ?x?x6.4) Pasta porosa blanca-anaranjada, con desgrasante abundante (c.2mm) y puntos negros.

Además, se recogió otro tipo de ladrillo, incompleto, sin marca pero con oquedad central (CCA/99-14) (?x11.9x6.8 cm) con pasta rojiza muy depurada, no refractario.

De los tipos de ladrillos que podían ser refractarios se hizo una selección para su análisis por medio de Difracción de Rayos X (XRD) con la finalidad de determinar las fases mineralógicas principales presentes, con los siguientes resultados:

GARTCRAIG: Mullita como fase de alta temperatura, cantidades no determinadas de cuarzo como fase estable y también tridimita-cristobalita. Ladrillo con altas propiedades refractarias.

COWEN: Mullita como fase de alta temperatura, cantidades no determinadas de cuarzo como fase estable de baja temperatura y tridimita-cristobalita. Ladrillo muy refractario.

WILSON & SON-BARLINNIE: Mullita como fase de alta temperatura, cantidades no determinadas de cuarzo como fase estable y tridimita-cristobalita. Ladrillo con altas propiedades refractarias.

ROSHEE-SEVILLA: Ausencia casi total de Mullita y abundancia de cuarzo. Ladrillo con limitadas propiedades refractarias.

BUT...: Mullita como fase de alta temperatura, así como tridimita-cristobalita. En cambio, la fase de baja temperatura, el cuarzo, está ausente. Esta composición mineralógica es indicativa de haber sido elaborado este ladrillo a temperatura muy elevada y siendo su cocción completa. Es el ladrillo que muestra las propiedades más refractarias de los estudiados, ya que se ha producido la transformación completa del cuarzo a las fases tridimita y cristobalita.

Así, salvo en el de fabricación local, las pastas de los ladrillos analizados tienen una composición que los hace, en mayor o menor medida, refractarios.

Las arcillas se denominan refractarias cuando resisten la exposición a altas temperaturas sin fundir y sin llegar a ser blandas y pastosas. Estas arcillas varían mucho en el grado de su calidad refractaria, apareciendo en muy diversas forma-

ciones geológicas, aunque se considera que algunas de las mejores arcillas refractarias se dan en formaciones relacionadas con depósitos de carbón ("coal-measures") (PERCY, 1861: 208). Esta génesis geológica hace que las arcillas contengan frecuentemente impurezas de Fe, como piritita (FeS_2), (RHODES, 1987: 129), que hay que evitar en lo posible por ser perjudiciales. Además, al constituir estas arcillas generalmente el lecho inferior de un yacimiento carbonífero, la presencia de materias orgánicas es frecuente (RHEAD, 1957: 61), unas materias orgánicas que, como el grafito o el polvo de cock (materiales que no se contraen) eran introducidos deliberadamente como desgrasante para evitar la rotura durante el calentamiento de los ladrillos (HOFMAN, 1913: 353).

La arcilla refractaria más utilizada es la que contiene principalmente silicato de alúmina hidratado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), es decir, alúmina, sílice y agua con unas proporciones teóricas de 46% sílice, 39% alúmina y 14% agua (RHEAD, 1957: 60), con un punto de fusión en estado puro de 1785°C (hasta 1580°C según HOFMAN, 1913: 342), aunque casi todas las arcillas en depósitos explotables contienen impurezas que bajan considerablemente el punto de fusión (RHODES, 1987: 129).

En relación con los ladrillos refractarios procedentes de Aznalcóllar, en la segunda mitad del siglo XIX se fabricaban en muchas partes del Reino Unido excelentes ladrillos refractarios, usando preferentemente la arcilla, ya mencionada, relacionada con depósitos de carbón. Al tenderse a usarse un tipo determinado de arcilla, muchos de los ladrillos mostraban características similares: un color pálido a marrónceo, a veces presentando abundante moteado con puntos oscuros, debido, según algunos autores, a la existencia de partículas de pirititas de hierro difusas en la arcilla (PERCY, 1861: 235). Este moteado oscuro lo presentan claramente alguno de los ladrillos recuperados en Aznalcóllar, en concreto los de marca GARTCRAIG, WILSON & SON y BUT...

En el caso del único ladrillo foráneo al que se le ha podido establecer su origen, el CCA/99-3: WILSON & SON, como se ha expuesto, se conoce que su fábrica en Barlinnie, en las cercanías de Glasgow, se asentaba en las inmediaciones de un depósito de carbón.

La investigación llevada a cabo ha puesto de manifiesto que, en la segunda mitad del siglo XIX, una de las zonas de extracción de arcillas refractarias de buena calidad era, precisamente, la de Glasgow. De Glasgow (sin especificar más su origen) se conoce la relación de 4 tipos de arcillas con sus composiciones (n.º. 22 a 25). En concreto sobre la n.º 22 se afirma que es gruesa, produciendo un cuerpo poroso, y muy adecuada para la fabricación de ladrillos refractarios. Su composición era: (PERCY, 1861: 215): 66.16% SiO_2 , 22.54% Al_2O_3 , 1.42% CaO , FeO 5.31% y trazas MgO , con 3.14% de agua combinada. Además se dispone de composiciones de ladrillos refractarios británicos, que presentaban los siguientes valores extremos (PERCY, 1861: 236): sílice: de 88% a 63%; alúmina: de 29% al 4.5 %; CaO : de 3.4% a ausente; MgO : de 2.8% a 0 y Fe_2O_3 : de 4.2% a 0.3%.

Durante el proceso de cocción a que se sometían los ladrillos, que se considera que debía ser a una temperatura mínima de 1310°C. (RHODES, 1987: 131), y en función de la temperatura y el tiempo, se producían una serie de cambios en

las fases mineralógicas que están directamente relacionadas con las propiedades refractarias finales de los ladrillos y que permiten una aproximación a su historia pirotécnológica.

Por un lado, en cuanto a los materiales refractarios, en el grupo de los minerales silíceos existen tres polimorfos cristalinos de sílice, que evolucionan a fases estables diferentes según, básicamente, el factor temperatura (SHARP, 1987; WHITTEN y BROOKS, 1985): *Cuarzo, hasta 573°C, es la forma de baja temperatura del sílice. *Tridimita: la forma estable del sílice que aparece por encima de los 870°C, por transformación del cuarzo de baja temperatura, y es estable hasta 1470°C. Es constituyente deseado en los ladrillos de sílice por su bajo coeficiente de expansión. *Cristobalita: a la que pasa la tridimita a partir de 1470°C, siendo estable desde esa temperatura hasta el punto de fusión, 1710°C.

Además, otra fase mineralógica típica que aparece en los ladrillos refractarios altos en alúmina, lo que suele ser habitual, es la Mullita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), que es considerado el más estable silicato de aluminio, formado por el calentamiento de otros aluminosilicatos, siendo usado en materiales refractarios y vidrios (SHARP, 1987). Este tipo de arcilla refractaria alta en alúmina, conteniendo hasta un 30% de mullita, se utiliza para resistir choques térmicos y temperaturas extremadamente altas (RHODES, 1987:131).

La mullita es, así, otra fase de alta temperatura que es indicadora también de la historia pirotécnológica de los ladrillos: aparece a los 1100°C, habiéndose demostrado de forma experimental que su cristalización ocurre como consecuencia de la combinación del Al_2O_3 salido de la descomposición de minerales primigenios (gehlenita) con el SiO_2 que proporciona el cuarzo (JORNET et al., 1985:252). El cuarzo, según algunos autores, desaparece entre 1000-1100°C, y los nuevos minerales formados incluyen mullita y cristobalita, que se formarían en el rango de temperatura 1000-1100°C (MAGGETTI, et al., 1984:173).

Además de su composición mineralógica, un aspecto que es siempre considerado como importante en la bibliografía consultada respecto a los ladrillos refractarios es la estandarización de sus dimensiones. La razón fundamental es que si sus dimensiones no fueran homogéneas se necesitarían juntas mucho más gruesas para asentarlos, siendo éstas el punto débil del revestimiento refractario (RHEAD, 1957:62).

En uno de los manuales de metalurgia consultados, de principios del siglo XX (HOFMAN, 1913:354), se muestran los principales tipos estandar de ladrillos, cuñas, dovelas... refractarios, con sus medidas en pulgadas. Entre los ladrillos está el denominado 9" *Straight*, cuyas dimensiones son : largo 9"; ancho 4 _" y alto 2 _".

Esto equivale en ctms. a: 22.8 x 11.4 x 6.3, que son precisamente las medidas que presentan los ladrillos refractarios documentados en Aznalcóllar. La estandarización es seguida, lógicamente, cuando la producción se lleva a cabo en un ámbito local, como es el caso del ladrillo ROSHEE SEVILLA, fabricado en base a materiales locales, lo que dá al producto un aspecto y calidad diferente a los ladrillos importados.

Estas medidas se han mantenido hasta la actualidad, presentándose los ladrillos normalizados, ya en el sistema métrico decimal, con las mismas medidas (RHODES, 1987: 136)

que se daban en pulgadas a principios de siglo. Es decir, en su aplicación arqueológica, las medidas de los ladrillos refractarios por sí solas no tienen valor cronológico.

- Resultados analíticos elementales y de pH.

Durante el desarrollo de la Intervención Arqueológica fueron seleccionadas una serie de muestras para someterlas a su análisis elemental y, así, establecer sus características y su posible conexión con los procesos metalúrgicos llevados a cabo en el yacimiento.

Los elementos analizados (Muestras A y B: sedimento limoso pilón; Muestra C: mineralización verdosa; Muestras D y H: sedimentos limosos canales; Muestra E: deposición terrosa; Muestras F y G: Fragmentos hierro con óxidos cobre) y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn-ppm
A	0.08	2.91	0.05	8.11	6
B	0.04	2.47	0.01	6.29	6
C	43.03	0.31	0.70	1.42	185
D	0.05	1.83	0.02	7.15	6
E	10.60	0.17	0.06	6.64	337
H	0.08	6.60	0.02	5.73	6

Las muestras F y G estaban compuestas fundamentalmente por hierro.

Las muestras de sedimentos limosos presentan una composición muy similar, con escaso contenido de Cu y Zn, sólo trazas de Mn y relativamente alto contenido de Pb y Fe: una sedimentación muy mineralizada, con componentes típicos del depósito mineral de Aznalcóllar. El bajo contenido en Cu en estos sedimentos y su propia textura indican que su formación se produjo en relación directa con agua en movimiento reposado, agua que llevaría el Cu en disolución.

La relación de este complejo con la producción de cobre viene confirmada por los resultados de la Muestra C, que corresponde a una mineralización muy alta en Cu formada entre los ladrillos de la atarjea, sin duda por reacción con las aguas con el Cu en disolución.

La Muestra E, aún no siendo conocida su naturaleza mineralógica, es un compuesto, quizás de mineral sin lixiviar, alto en Cu, que también se podría poner en conexión directa con la hidrometalurgia del cobre.

Es interesante conocer que las muestras F y G corresponden a fragmentos de hierro mineralizados, lo que confirma el empleo de este metal, en forma de chatarra según los restos aparecidos, en el proceso metalúrgico.

Además de los análisis elementales, en el mismo laboratorio se determinó el pH de 4 muestras adicionales, extraídas de puntos directamente relacionados con la sección de madera extraída del Canal 3: Sedimento del interior limoso grisáceo: pH 1.71; Base térrea de canal: pH 1.76; Madera del suelo del canal: pH 1.96; Travesaño de madera bajo sección extraída: pH 1.90

Del sedimento limoso, lo reseñable es su carácter ácido, lo que, al igual que su composición elemental, indica su formación en relación directa con las denominadas "lejías". Esta

acidez afecta a todos los elementos en contacto más o menos directo con esas aguas ácidas.

Si se tiene en cuenta que el pH de, por ejemplo, la madera de *Pinus Sylvestris* es de 4.3 a 5.1 (William Mourey, apuntes de curso), se puede deducir que la madera del canal ha estado sometida a un ambiente muy ácido, que viene corroborado por un pH muy ácido tanto del sedimento como de la tierra de apoyo del canal de madera. La formación de ácidos en las leñas durante la cementación ha hecho que la madera se acidifique, lo que quizás contribuya a su conservación (en el sentido de no ataques de hongos, etc.).

7. CONTEXTO HISTÓRICO-TECNOLÓGICO

Con la finalidad de tratar todos los aspectos para obtener una interpretación correcta de las distintas partes que componen el yacimiento “Canales de Cementación” y entender la funcionalidad de cada una de ellas, en las siguientes líneas se hace un somero repaso de los procesos metalúrgicos de obtención de cobre, los principios generales de los métodos que más interesan a esta exposición y su aplicación práctica en las minas de la región del SO de la Península Ibérica y en las Minas de Aznalcóllar en particular.

La metalurgia extractiva del cobre: procesos básicos

En el momento tecnológico en que se inscribe el yacimiento “Canales de Cementación”, y desde mediados del siglo XIX, se aplicaban en las minas del SO. de la Península Ibérica, en general, dos procesos metalúrgicos para la extracción del cobre, que se presentaba, fundamentalmente, en forma de minerales piríticos y sus minerales secundarios, en disolución en las aguas ácidas y cristalizado en forma de vitriolos (FRIAS GOMEZ y SANCHEZ DIAZ, 1988: 493):

a. Vía seca o fundición, a la que se sometían los minerales más altos en Cu.

b. Vía húmeda, llevada a cabo por distintos procedimientos según la mena a tratar:

- Cementación natural
- Cementación artificial
- Vitriolos (sulfatos de cobre cristalizados que se forman en las labores antiguas)

a. Vía seca o fundición.

Aunque, como se ha indicado, los minerales más ricos eran apropiados para su tratamiento por fundición (muchas veces tras calcinación), este sistema quedó, en la segunda mitad del siglo XIX, casi completamente desplazado por la cementación, lo que era considerado, por los inconvenientes y pérdidas que conllevaba, como antieconómico (RUA FIGUEROA, 1868). Hasta tal punto fué relegada la fundición de minerales que se la consideraba, en el último tercio del siglo XIX como “excepcional en la comarca”(GONZALO Y TARIN, 1887: 617).

b. Vía húmeda o hidrometalurgia

Parece que, aunque los principios fueron seguramente conocidos con anterioridad, las primeras noticias respecto a la

hidrometalurgia del cobre -por cementación- se deben a Basilio Valentín que en su obra “*Currus Triomphalis Antimoni*”, de principios del siglo XV, en la que explica la forma de obtener cobre de la pirita transformándola primero en sulfato y sumergiendo después hierro en las leñas (PINEDO VARA, 1963: 598-599).

Por mencionar otro autor, a mediados del siglo XVII, Alonso Barba (BARBA, 1639: Libro III, Cap. XIV), menciona la precipitación del cobre en disolución en presencia de hierro, es decir, la cementación. De cualquier forma, la cementación como método metalúrgico con cierta importancia no se desarrolla hasta el siglo XVIII, probablemente por la dificultad y coste de la obtención del hierro hasta ese momento.

Para lo que al yacimiento “Canales de Cementación” que ahora se trata interesa, la explicación se centra en los procesos de extracción de cobre por vía húmeda, para lo que, esencialmente, se ha de tener el metal en forma soluble, como sulfato o cloruro, precipitándose luego el cobre de la solución en contacto con hierro metálico. Esa forma soluble se puede dar naturalmente (cementación natural), o bien se puede provocar artificialmente (cementación artificial).

La Cementación Natural se basa en el tratamiento metalúrgico de ciertos minerales sulfurados que se oxidan natural y espontáneamente en contacto con el aire, pasando al estado soluble de sulfato. Por esta causa, el agua de las minas de cobre y el drenaje de las acumulaciones de “desperdicios” mineros, con muy baja ley en cobre, contienen a menudo sulfatos de cobre en disolución. Son conocidas las grandes instalaciones que fueron montadas para precipitar las aguas de mina, como en Pary’s Mountain en Anglesea, y otras partes, como Río Tinto, aunque en este caso también en conjunción con la cementación artificial (RHEAD, 1957:250).

En realidad, la diferencia entre cementación natural y artificial está, básicamente, en la manera de obtención de la solución de cobre, ya que ésta se sometía posteriormente al mismo procedimiento, e incluso se mezclaban habitualmente las soluciones de origen natural o artificial.

Así, obtenida naturalmente la solución, se procedía a la cementación del cobre contenido en las aguas ácidas de drenaje de la mina, poniéndolo en contacto con trozos de hierro, según la reacción $SO_4Cu + Fe \rightarrow SO_4Fe + Cu$.

En la práctica el procedimiento se veía dificultado por otras reacciones que también consumían hierro, por lo que el consumo teórico de 0.9 kg Fe/kg.Cu ascendía hasta 2 kg., lo que era un factor de considerable incremento de los costos. En Río Tinto, el hierro, traído de Vizcaya, llegaba a alcanzar el 25% de los costos de producción.

Como se detalla más adelante, por cementación se obtenían dos productos de diferente calidad: la cáscara o trozos de cobre precipitado en el hierro, con hasta 90% Cu, y la papucha, o finas partículas de Cu que se iban depositando en el fondo, con bastantes impurezas de Fe, As, etc.(FRIAS GOMEZ y SANCHEZ DIAZ, 1988:498)

Respecto a la Cementación Artificial, en general, para la conversión artificial de las menas sulfúricas en sulfatos (o cloruros) solubles, hay dos procedimientos, conllevando ambos la tostación del mineral:

-Procedimiento sulfatante. Mediante este procedimiento se transforma por calcinación el Cu de los minerales piríticos

en sulfato. El sulfuro es convertido en sulfato, parcialmente por oxidación directa ($\text{Cu}_2\text{S} + 5\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{CuO}$) y parcialmente por el SO_3 (anhídrido sulfúrico) desprendido del sulfato ferroso formado por la calcinación del sulfuro de Fe existente ($\text{CuO} + \text{SO}_3 \rightarrow \text{CuSO}_4$) (RHEAD, 1957:249).

Como se ha mencionado, la calcinación de las piritas se venía practicando desde antiguo como etapa previa de la fusión, pero su conversión en método autónomo data de principios del siglo XIX. Su principal ventaja era que permitía el tratamiento de minerales de baja ley, que por fundición eran intratables. En las minas del SO. peninsular este procedimiento tenía tres fases: tostación lenta (o sulfatante), lixiviación y cementación. Aunque más adelante se describe el método tal como era practicado en la segunda mitad del siglo XIX en la región, baste decir ahora que la tostación sulfatante se llevaba a cabo en las denominadas “teleras”, que necesitaban control de la temperatura, ya que por encima de los 415°C se inicia el desprendimiento de azufre pero si se sobrepasaban los 700°C se formaban “nucleos” ricos en cobre e insolubles.

La lixiviación consistía en regar las teleras *in situ* o llevar el mineral calcinado a unos pilones (disolvedores) llenos de agua, ácida o no. Las aguas con el cobre en disolución se llevaban a otros pilones (repositores) para pasar finalmente a los pilones o canales de cementación.

Las “cáscaras de cobre” procedentes de cementación artificial eran más impuras que las de la natural por la mayor presencia de impurezas y presentaba inconvenientes, como el gran consumo de leña, la pérdida de todo el azufre, alto consumo de hierro, pérdidas de Cu, etc. (FRIAS GOMEZ y SANCHEZ DIAZ, 1988: 499-503).

-Procedimientos de cloruración. El cobre es llevado al estado de cloruro por tostación de los sulfuros minerales con sal (cloruro sódico) u otro producto clorurante. En la tostación, el cloro se combina en último término con el cobre, formando cloruros solubles (RHEAD, 1957:250).

Uno de estos procedimientos de cloruración era el denominado de “Longmaid y Henderson” (como se explica más adelante, por W. Henderson, fundador de la Seville Sulphur & Copper Co Ltd, de Aznalcóllar), nombre con el que se denominaba (aún a fines de la década de 1950) precisamente al adoptado para el tratamiento de los residuos procedentes de la tostación de piritas de hierro usadas en la fabricación de ácido sulfúrico.

En la descripción de este proceso concreto de cloruración se dice que las piritas de Portugal, España (de la Faja Pirítica) y Noruega, importadas a Gran Bretaña para esto, contenían entre un 1 y 2.5% Cu, que después de la eliminación del azufre alcanzaba una proporción de 2 a 5% Cu. El “mineral purpúreo” (cinder), así llamado, era molido y mezclado con una pequeña cantidad de “mineral verde” (pirita no quemada) y entre 10 a 18% de sal de roca en un mezclador mecánico. Esta mezcla se tostaba a una temperatura de $400\text{-}500^\circ\text{C}$ (ya que el cloruro de Cu es volátil a más altas temperaturas) durante 8 horas en un horno de reverbero. Después era lixiviado en tanques de madera con agua y también ácido clorhídrico (que se recuperaba del horno), pasando la solución de cobre obtenida a ser cementada, tras pasar por tanques de decantación, en unos recipientes de precipitación, en

donde el cobre se precipitaba con chatarra de Fe (RHEAD, 1957: 250).

-Los vitriolos. Los sulfatos de cobre cristalizados, tuvieron muy escasa incidencia en la producción de cobre; se lixiviaban de forma independiente, resultando cobre de gran pureza (FRIAS GOMEZ y SANCHEZ DIAZ, 1988: 499-503).

La evolución de la hidrometalurgia del cobre en el Suroeste Peninsular: las Minas de Río Tinto como paradigma

Uno de los primeros pasos hacia la revitalización de la minería en el SO. de la Península Ibérica fué el reconocimiento de los grandes depósitos minerales de piritas como cupríferos, hecho que ocurre, como en Río Tinto, en la primera mitad del siglo XVIII (SALKIELD, 1987:21).

Por ser precisamente las Minas de Río Tinto pionera en la aplicación de la cementación y uno de los establecimientos más estudiados y sobre el que hay más datos, se tomará como modelo regional de evolución de los métodos de metalurgia extractiva de cobre.

La reactivación de la minería en Río Tinto en época más reciente se produce con Liebert Wolters Sjhjelm, probablemente de origen sueco, que formó en 1725 la Compañía de Minas de Río Tinto y Aracena, que heredará su sobrino Samuel Tiquet Sjhjelm, que se asocia con Francisco Tomás Sanz.

Es Tiquet el primero que reconoce Riotinto como mina de cobre, iniciando en 1737 la experimentación para la recuperación del cobre de las aguas de drenaje por cementación con hierro.

En 1740 se asocia con Lady Maria Herbert of Powis, la que controlaría Río Tinto durante el litigio judicial que tuvieron, desde 1742 a 1746. Hasta entonces produjo 300 kgs. de cobre por cementación y otro tanto durante el periodo de control de Lady Herbert. Cuando Tiquet recupera el control se concentra en el producción de cobre, primero con chatarra de hierro y luego, sobre 1749, con “virgin iron” procedente de Vizcaya, incrementándose la producción de cobre por cementación desde unos centenares de kilos en 1747 a 35 toneladas en 1756 (SALKIELD,1987:20-21).

Aunque algunos autores consideran que la cementación artificial se conoce en minas de Río Tinto casi desde su rehabilitación en 1725 (en 1765 se mencionan las calcinaciones, aunque se podría referir a la etapa previa a la fundición), el método empleado hasta 1823 era el de cementación natural, poniéndose en práctica de una manera sistemática la cementación artificial sólo a partir de 1839, por Gaspar de Remisa (después de algún intento por Fausto Elhuyar en 1826), incrementándose a partir de 1873 con la irrupción de la compañía minera Río Tinto Co Ltd. (PEREZ LOPEZ, 1994:11,14).

El caso es que tras la muerte de Tiquet, su socio Sanz queda gobernando la mina hasta 1783 continuando con el camino señalado, siendo sustituido por administradores gubernamentales, como fué Melchor Jimenez (1786-1789), bajo cuyas órdenes estaba Francisco Angulo como director de la mina. Angulo observó como el cobre era lixiviado por el agua de lluvia de montones abandonados de minerales calcinados, considerando la posibilidad de que mineral calcinado pudiera ser lavado por agua de drenaje u otro tipo de agua

para extraer su cobre. Propuso concentrar la solución por evaporación natural hasta la cristalización de los sulfatos, que serían rediseñados y cementados con hierro.

Esta es considerada la primera proposición documentada del uso de lo que luego sería denominado cementación artificial en Río Tinto, y cuya implantación tendría que esperar aún 50 años, hasta la llegada del marqués de Remisa, quien arrendó la mina en 1829 (SALKIELD, 1987: 24)

En el periodo de Gaspar de Remisa, de 1829 a 1849, se pueden establecer dos periodos en cuanto a la metalurgia del cobre: hasta 1837 el 15% producción de Cu fué por cementación artificial y el 85% restante por vía seca (fundición). Ante la escasez de combustible se responde en 1839 con la puesta en marcha de la cementación artificial, de forma que en 1849 ya suponía más del 90% de la producción total de cobre en Río Tinto (PEREZ LOPEZ, 1994:15).

Así, de la cementación natural que aprovechaba el cobre que contenían las aguas de las excavaciones mineras se pasó al beneficio de los minerales calcinados natural o artificialmente, a los cuales se sometía mecánicamente a disolución, de ahí el nombre de cementación artificial, que llegó a ser el dominante, aplicándose a casi la totalidad de las menas arrancadas (GONZALO Y TARIN, 1887: 618).

En Río Tinto, a partir de Remisa (aún con voces en contra, como la de Rúa Figueroa-1868- por su bajo rendimiento) la Cementación Artificial mediante calcinación por teleras será el método principal de beneficiar el mineral, siendo usado en muchas de las minas del Cinturón Piritico Ibérico, hasta su prohibición en España, a final del siglo XIX, por los efectos nocivos de los humos que emitían (SALKIELD, 1987: 30).

La extensión de la aplicación de la cementación produjo, lógicamente, un incremento de la demanda de hierro, a la que respondió, en el ámbito más próximo, la fábrica de hierro del Pedroso (Sevilla), creada en 1836 por Francisco de Elorza, auxiliado por Gustavo Wilke, ingeniero ruso procedente de las minas de Río Tinto (Libro Blanco, 1986: 82). A mediados del siglo XIX esa fundición tenía una producción en torno a 45.000 quintales (un quintal equivale a 46 kgrs.) de hierro colado, vendiéndose una buena porción de él "...para las fábricas de moldería, para la fundición de artillería de Sevilla y para la cementación de las minas de cobre" (MADOZ, 1854:67).

Tras el periodo de auge que fué apagándose con el inicio de la exportación masiva de la pirita cruda, la cementación estaba prácticamente en desuso a principios de la década de los 60 del siglo XX, defendiendo su utilización de forma moderna, e incluso se veía como una posibilidad no insensata "consentir y hasta alentar el incendio de las minas de azufres cobrizos pobres... (ya que) el riego posterior de las zonas calcinadas y el desagüe de las minas, proporcionaría la forma de obtener con poco costo un alto porcentaje del cobre contenido" (PINEDO VARA, 1963:615),

La práctica de la cementación a fines del Siglo XIX

Una de las descripciones más completas e ilustrativas sobre la práctica de la cementación tal y como se llevaba a cabo en la segunda mitad del siglo XIX en las minas de piritas masivas del SO de la Península Ibérica es la que brinda Joaquín

Gonzalo y Tarín (1887). Es un relato pormenorizado (que se puede seguir en la obra citada), del que sólo se exponen ahora los puntos que se consideran de interés para la interpretación del yacimiento que se estudia, así como para conocer la terminología empleada (que se ha resaltado), y que es la que se ha seguido para la realización de este estudio.

Todo el proceso se iniciaba, al menos en los yacimientos más importantes, con una primera selección del mineral, destinando a la exportación los minerales con leyes por lo menos del 2 al 5% Cu y dejando para su beneficio local por vía húmeda los minerales (después de ser calcinados natural o artificialmente) de más baja ley (GONZALO Y TARIN, 1887: 617-618). Una vez seleccionado el mineral, se procedía a la calcinación de las menas, cuyo objetivo era convertir los sulfuros en sulfatos solubles.

Esta calcinación se llevaba a cabo hasta 1839 en pequeños montones cónicos a los que se les daba el nombre de **hornos** (con un radio en la base de c. 4 mts. y una altura de hasta 3 mts., con capacidad para entre 110 y 200 tons. de pirita) hasta que fueron sustituidos por los de mayores dimensiones (de forma prismática, análoga a un tejado con 4 vertientes muy inclinadas, con c. 14 mts. en la base, 5 mts. de ancho y casi 2 mts. de altura, con capacidad para unas 260 tons. de mineral, que se aumentaban a 800 aumentando la longitud), a los que se denominó **teleras** por la semejanza que tenían después de la calcinación con una clase de pan de ese nombre.

Más tarde, el nombre de telera se extendió de forma que se aplicaba ya en 1887 para denominar a todos los montones de calcinación, con independencia de su forma.

En cualquier caso, la formación de los montones se tenía que realizar o **armar**, de forma específica, con su solera, combustible vegetal, etc. Una vez armada la telera se le prendía fuego al combustible, iniciándose la combustión del azufre, que se extendía a toda la telera. La calcinación, para no aumentar mucho la temperatura por los motivos ya expuestos, debía ser lenta, durando entre 6 o 7 meses, aunque se podía acelerar hasta reducirla a 3 o 4 meses, pero siempre a costa de la mala calcinación de una buena parte de la mena, formándose núcleos insolubles de diversas composiciones, llegando a tener los de más alta ley 60% Cu, 16.8% Fe y 25% S (RUA FIGUEROA, 1868: 52).

Las Calcinaciones se llevaban a cabo en unas grandes explanadas, a veces en pendiente, denominadas "**plazas**" o "**llanos**" (PEREZ LOPEZ, 1994:15).

El siguiente paso, la lixiviación, consistía en disolver los sulfatos de cobre producidos. Para ello, la telera se desarmaba a pico (picar), y el mineral calcinado (o bien se depositaba en terreros) se pasaba a unos tanques denominados **pilones disolvedores** de dimensiones variables, por lo general rectangulares con 5 mts. de largo, 4 de ancho y 0.8 de hondo, recubiertos de cemento hidráulico o asfalto o tablas calafateadas y con un doble suelo de tablas de madera sin juntar y sin clavar sobre durmientes de madera.

En esos pilones se vertía la mena y se llenaban de agua, bien pura o bien vitriólica, que a las 15 o 20 horas se dejaba salir, repitiéndose esta operación denominada **beneficio**, hasta 5 o 6 veces o más, aumentando el tiempo en cada uno de los beneficios hasta permanecer 6 o 7 días en total la carga

en el disolvedor. La mena ya beneficiada en los disolvedores, denominada **barbasco**, se acumulaba en grandes montones, denominados **terreos** (GONZALO Y TARIN, 1887: 623-624).

La disolución ácida ya saturada, con predominio de sulfatos de hierro y de cobre, contenía en suspensión partículas sólidas, por lo que era necesario conducirla a otros pilones, denominados **pilones reposadores**, de construcción similar a los pilones disolvedores (aunque sin suelo de madera) pero de capacidad superior, con la salida algo elevada sobre el fondo. Allí, las **lejías** reposaban, depositándose en el fondo las partículas sólidas.

Algunos autores mencionan la práctica que se llevaba a cabo en estos pilones reposadores, en donde se habían de mezclar aguas con contenidos diversos de cobre, de forma que al final contuvieran en torno a 8 kgr. de Cu por m³, que era considerada la proporción ideal para optimizar el consumo de hierro (RUA FIGUEROA, 1868: 59).

Una vez sedimentadas las partículas, las **lejías claras** pasaban a la cementación, denominándose así a la precipitación del cobre contenido en las lejías. Esta fase se llevaba a cabo, a cota inferior, en estanques análogos a los reposadores, denominados **pilones cementadores**, y además “en unas canales, sencillas o dobles, llamadas **canales**”. En ellos se colocaban los lingotes de hierro colado que habían de ocasionar la precipitación del cobre y, ya en posición, se daba entrada a las lejías.

El cobre formaba en los lingotes de hierro una costra “que en el país llaman **cáscara**”, que se recogía mecánicamente, por raspado de los lingotes, cuando había alcanzado un espesor de 1 a 5 mm., estando el rendimiento en función del contenido de las lejías, de la cantidad de hierro contenido en los pilones y también la temperatura ambiente.

Un punto que se quiere destacar, por su relación directa con los “canales”, es la constatación por los metalurgos del siglo XIX de que la cementación o precipitación del cobre se aceleraba manteniendo las lejías en movimiento, de tal forma que en los pilones cementadores aislados un obrero se encargaba de hacer esta operación. “De ahí, sin duda, nació la idea de que las lejías se movieran por sí mismas en virtud de su propio peso, pasando de unos pilones a otros, convenientemente dispuestos por series, o por los diversos compartimentos de un recipiente muy largo, calculándose su número de esos pilones o compartimentos de modo que, cuando las lejías corrientes entran en el último, se pueden considerar **rendidas**” (GONZALO Y TARIN, 1887: 627).

En función de ese incremento en la producción de las lejías en movimiento, se afirmaba que “en la actualidad es más común disponerlos (los pilones) por series, de modo que los de cada una, ligeramente inclinada en su conjunto, se comuniquen entre sí por medio de sifones, que es lo que ocurre en Tharsis y otras minas, o que cada cementador consista en un recipiente de muchos metros de longitud, pero angosto y poco profundo (los de esta clase de Ríotinto tienen 30 mts. de largo por 2 mts. de ancho y poco más de 1mt. de hondura), dividido en compartimentos por medio de unas compuertas o tabiques transversales y móviles de madera que, llegando al piso, son más bajos que las paredes laterales. Los fondos de esos diversos compartimentos están en algunas fábricas dispuestos de modo que, conservándose en todos

una pendiente de 1% en el sentido en que han de correr las lejías, se formen entre uno cualquiera y su consecutivo un resalto pequeño” (GONZALO Y TARIN, 1887:625).

Esas lejías solían pasar, tras los cementadores, a otros pilones llamados **repasadores**, donde se depositan las sustancias que llevan en suspensión, las cuales, después de sedimentadas, constituían un lodo con 8 a 10% Cu, llamado **papucha**, nombre que también se aplica a cualquier producto de cementación con ley inferior a 62% Cu.

Siempre, las lejías que corrían por los canales eran apuradas de forma que cuando eran vertidas a los arroyos inmediatos sólo contenían algunos grms. de cobre por m³ (GONZALO Y TARIN, 1887:628).

Estas canales, como las que se establecieron en Río Tinto para la cementación natural de las aguas vitriólicas que salían de las minas y de la Cueva del Lago, se hacían de mampostería y se vestían interiormente de cemento o asfalto, con sección rectangular, cuyo ancho varía entre 50-60 cmts. y 1 metro, 15 ctms. de altura y una longitud de muchos cientos y aún miles de metros, pudiéndose citar las de Cueva de la Mora, de 4 kms. de longitud.

A veces esas canales eran simples pero era más general que en un mismo macizo de mampostería hubiera practicadas dos, que llamaban “dobles” o gemelas. separadas por un muro intermedio, que a trechos ofrecía aberturas por donde podían comunicarse. Estas aberturas se cerraban por medio de unas tablas, corriendo las lejías por las dos canales, pero si se quería dejar seca una porción no había más que aislarla por medio de esas tablas (GONZALO Y TARIN, 1887:628).

Ya fueran los canales simples o dobles, eran raras las ocasiones en que la topografía del suelo permitía colocarlas en una sola dirección, sino que generalmente había que formar con ellas un zigzag más o menos complicado, con una inclinación que va desde 0.5 %, al principio, hasta acabar en el 2% (GONZALO Y TARIN, 1887:628-629).

Así, resultaba que, en general, los cementadores, ya aislados o formando series, presentaban un número de canales y unas dimensiones variables y heterogéneas.

Cuando los lingotes estaban cubiertos de cáscara, se dejaban los canales, en su totalidad o por secciones, en seco y entraban los operarios, raspaban la cáscara (que era más pura en los tramos superiores) a mano, dejándola caer al fondo, donde se juntaba con alguna impureza.

Una vez obtenida la cáscara se volvía a poner los lingotes de hierro, añadiendo la cantidad de Fe consumida, que mientras tanto había quedado en **andenes** dispuestos a lo largo de los canales, iniciándose una nueva cementación.

Como se ha mencionado, por las impurezas que estaban presentes durante el proceso de cementación, no se necesitaba el teórico 0.86 de hierro por 1 de cobre precipitado, sino que en la práctica era necesario de 1.5 a 3 partes de hierro por una de cobre precipitado (GONZALO Y TARIN, 1887:629).

Los productos cobrizos que se obtenían en los canales formaban un lodo que había que secar y, antes de que se establecieran los canales o pilones en serie, se fundía localmente, pero con la llegada de sociedades extranjeras, que introdujeron aquellas modificaciones, la mayor parte del producto se exportaba, principalmente a Inglaterra, clasificándose pre-

viamente, según su contenido de Cu, en cáscara de 1ª (75 a 100%) de 2ª (62 a 75%) y papucha al resto (GONZALO Y TARIN, 1887:633), que habían de ser fundidas, en bolas (de 5-6 cm. según indica Luis de Escosura en 1871, recogido por PEREZ LOPEZ, 1994:13-14), para producir cobre negro, que posteriormente necesitaba ser refinado.

Evolución histórica y tecnológica en las Minas de Aznalcóllar

En cuanto a sus características geológicas y mineralógicas, los depósitos minerales de Aznalcóllar se encuentran geológicamente ubicados en el Macizo Hespérico, en la parte central de la denominada Zona Surportuguesa, y en concreto formando parte de la Faja Pirítica o Cinturón Pirítico y, dentro de ella, del Complejo Volcano-Sedimentario. Las minas de Aznalcóllar constituyen uno de los yacimientos más orientales de ese Complejo, caracterizado por la presencia de grandes depósitos de sulfuros polimetálicos, que se extienden desde, al O., Caveira, en el concejo portugués de Grândola a, en el límite E., Aznalcóllar y Castillo de las Guardas.

Las minas de Aznalcóllar están localizadas en el límite O. de la provincia de Sevilla, a escasos centenares de metros de la población de Aznalcóllar.

Tradicionalmente en este depósito mineral se distinguieron hasta siete masas o filones diferentes (PINEDO, 1963:339), que en profundidad se unían, formando una masa mineral (VAZQUEZ GUZMAN, 1987:65) con una corrida de más de 1500 metros con dirección Este-Oeste y buzamiento 45°N.

Los filones se solían agrupar en tres criaderos: Cuchichón, Silillos e Higuereta, con otro filón, denominado grupo Caridad, lindando por el Norte con los anteriores.

Como es frecuente en el Cinturón Ibérico, la mineralización consiste en piritita masiva compleja, con calcopirita, blenda y galena como minerales principales, con leyes medias de 0.44% de cobre, 1.74% de plomo y 3.33% de zinc, además de 67 ppm de plata y 1 ppm de oro (VAZQUEZ GUZMAN, 1987:65; SIERRA, 1990: 37).

Algunos de estos filones, como Cuchichón y Silillos, se mostraban en superficie en forma de afloramientos ferruginosos, monteras de minerales de hierro bajo las cuales se situaban las zonas de enriquecimiento secundario, con leyes de cobre bastante más altas que la media, en torno al 5% (PINEDO, 1963:339,342).

La prospección arqueológica realizada en 1992 (HUNT ORTIZ, 1993) permitió el descubrimiento de una serie de yacimientos que pusieron de manifiesto la importancia de estas minas desde épocas prehistóricas, con yacimientos del Calcolítico y Bronce Pleno (HUNT ORTIZ, 1994 a), siendo en el Bronce Final cuando parece producirse un gran auge poblacional en base a la explotación y transformación de los minerales argentíferos (HUNT ORTIZ, 1994).

En época Romana también hay una intensa explotación de los recursos minerales de Aznalcóllar: sus trabajos metalúrgicos quedan evidenciados hoy por los escasos restos de escoriales que se preservan en las inmediaciones de la corta antigua, que se extendían originariamente por una amplia superficie a lo largo de la margen derecha del cauce del río Agrío. Por otra parte, sus labores mineras han quedado refle-

jadas en los planos mineros que se llevaron a cabo durante los primeros trabajos contemporáneos de cierta embergadura, en la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX (HUNT ORTIZ, 1993; e.p.).

Desde el período romano hasta el siglo XIX hay muy escasas referencias a la actividad minera en Aznalcóllar, conociéndose sólo que en 1563 y 1564 se realizan tres peticiones para explotar esas minas, la primera de ellas para el beneficio de plata. Más tarde, en 1628, se pide autorización para "...beneficiar una mina desierta y ahondada casi 40 estados, que al parecer era de plata y oro, 1/4 de legua de Aznalcóllar, junto al molino que llaman El Blanco" (GONZALEZ, 1832:195-6).

Con posterioridad al primer cuarto del siglo XVII, no existen datos conocidos sobre la actividad minera en Aznalcóllar hasta ya bien entrado el siglo XIX.

Según Madoz (1854:46), a mediados del siglo XIX "...con el nombre de Cueva de Cuchichón se conocen dos (minas), situadas a orillas del río Crispinejo, las cuales se beneficiaban en el año de 1839 por una compañía de Sevilla; más hoy están abandonadas; otra con el título de San Julian igualmente abandonada no ha mucho tiempo, como así también la de Silillos, a media legua de la villa...".

En 1853 fueron de nuevo otorgadas las minas de Silillos y Cuchichón, y sus concesiones demarcadas (PINEDO, 1963:335), hecho que debió ser consecuencia de la solicitud que en ese año hace Antonio Alvareda de esas minas, por el abandono en que las tenía su anterior propietario Juan Cabo, domiciliado por entonces en Minas de Río Tinto (Archivo Delegación de Minas de Sevilla -en adelante **ADMS**-, Expte. 6.385).

También en el ADMS (Expte. de Reg. 112) se encuentra un documento que menciona que las concesiones San Luis y Santa Flora pasan de la Sociedad Minera "La Conquista de Sevilla", disuelta en 1859, al súbdito francés Gustavo de Nouvion y Gatiners.

En el año 1861 (ADMS, Expte. Reg. 66) se solicita la mina de cobre "Ampliación a Silillos" por Antonio Fernández y Martínez, presidente de la Sociedad Especial Minera "La Unión del Comercio", que por entonces explotaba las minas de Silillos y Cuchichón.

También Antonio Fernández y Martínez debió solicitar la caducidad de las concesiones San Luis y Santa Flora, ya que a ambas solicitudes responde el apoderado de Gustavo de Nouvion con un escrito, oponiéndose tanto a la ampliación como a la solicitud de caducidad.

En el año de 1872, el 8 de agosto (ADMS, Expte. Reg.113) el ya nombrado Gustavo de Nouvion y Gatiners solicita el registro de 36 pertenencias mineras de piritita de cobre con el nombre de La Inglesa, en término de Aznalcóllar, por orden y encargo de D. William Henderson, vecino de Glasgow, director de la Compañía Inglesa titulada "The Seville Sulphur and Copper Company Limited" (en adelante **The Seville Sulphur**).

En el mismo día (ADMS, Expte. Reg. 112) también Gustavo de Nouvion presenta solicitud de registro para la mina de piritita de cobre Itálica, de 28 pertenencias, también especificando que es por orden de William Henderson.

De hecho, parece que ya en el año de 1870 pasaron, probablemente a través Gustavo de Nouvion, las minas a poder de

la sociedad The Seville Sulphur, iniciándose la reactivación contemporánea de las minas de Aznalcóllar y una relación con estas minas que durará hasta mediados del siglo XX.

La sociedad The Seville Sulphur, desde 1870 (aunque afirma Pinedo Vara que estuvo inactiva desde 1872 a 1887) y centrada en el filón Cuchichón, trabajó sin interrupción desde 1904 a 1921 y hasta el 1931 (PINEDO VARA, 1963:335-336).

Dentro de este periodo, se conoce que del riego de las montañas formadas con pizarras y azufrones cobrizos se obtuvieron durante los años 1904 a 1917 producciones de cáscara de cobre que oscilaron entre 200 y 350 tons./año, con mínimo de 160 tons. en 1917 y máximo de 378 tons. en 1908, mencionándose que también se usaban las aguas de desagüe de las labores para su cementación (PINEDO VARA, 1963:337).

Se ha podido conocer, a través del *Postal Office Glasgow Directory*, que en 1879 la empresa minera The Seville Sulphur & Copper Company Ltd. tenía su sede en Glasgow, en el nº 149 de West George St. En el año 1926 cambia de dirección, trasladándose a 109 Breth St. y, finalmente, en el año 1936 a Hope St., también de Glasgow.

En los años sucesivos ya no aparece ningún dato en esa fuente, ni vuelven a aparecer tras la finalización de la Guerra Civil en España ni tras el final de la 2ª Guerra Mundial.

Esto concuerda con la situación que sufre las minas de Aznalcóllar, en la que a partir de 1931 los conflictos sociales y luego la Guerra Civil y la Mundial, hicieron que la mina se abandonara y los trabajos parasen, sosteniéndose, con una pequeña plantilla, por algunas ventas de pirita y de cáscara de cobre obtenida por cementación de las aguas de minas y regando el mineral "en plaza", para su descobrización por el clásico procedimiento de los canales (PINEDO VARA, 1963:335-336). En situación de paro total se encontraba en 1945.

Por acuerdo de la The Seville Sulphur con la Sociedad Minera y Metalúrgica Peñarroya, en 1952 se desaguaron y reiniciaron las labores mineras, hasta 1960 en que las minas de Aznalcóllar pasan a propiedad de Andaluza de Piritas, S.A., con capital del Banco Central y del Grupo Bilbaíno (PINEDO VARA, 1963:63,336).

Un cambio fundamental en Minas de Aznalcóllar es el que se produce en la década de 1970 (FOX, 1990:20) en que se sustituye el sistema de laboreo subterráneo por la realización de la corta Aznalcóllar, a cielo abierto, que es, sin duda, la introducción tecnológica que más ha afectado y está afectando a los restos arqueológicos en la zona.

En términos generales, se ha calculado que la compañía minera The Seville Sulphur, de la explotación de los filones Cuchichón, Silillos e Higuereta, obtuvo desde sus inicios hasta los años sesenta de este siglo las siguientes cantidades (PINEDO, 1963:337-8): 830.000 tons. de minerales de cobre de alta ley (6-10% Cu); 283.000 tons. de azufrones cobrizos y 1.337.000 tons. de piritas.

Sólo se va a mencionar, ya que su interés para esta exposición es sólo colateral, que en Aznalcóllar existía otro grupo minero, no perteneciente a la The Seville Sulphur y explotado de forma independiente: el denominado Grupo Caridad. Este grupo fué uno de los escasos yacimientos mineros explotado por capital español. En síntesis, su evolución contemporánea es la siguiente: en 1880 (ADMS, Expte. Reg. 455),

Bernardo García, vecino de Aznalcóllar, solicita la concesión de la mina de pirita ferrocobrizada nombrada "La Caridad", y en julio de 1881 la vende a Augusto Fritsch y Fitz, que queda como único concesionario de las 4 minas de cobre que componían el grupo, tituladas La Caridad, Fe, Providencia y de masía a Caridad.

Augusto Fritsch, por su parte, va vendiendo por participaciones la casi totalidad de la concesión en 1885 (20%), 1887 (2.75% y 25%) y entre 1889 a 1895 (52%).

Por otra parte, desde 1875 el arrendatario de la explotación de Caridad era una sociedad formada por varios capitalistas de Cádiz, que en tres años obtuvieron un beneficio de 6.000.000 pts. mientras que el gasto se redujo a algo más de 500.000 pts. (COLL MARTIN, 1983:421) en base a la explotación, primero, de los minerales cobrizos ricos, para luego beneficiar por cementación la pirita (PINEDO, 1963:160).

En 1889, se constituye la sociedad anónima Gaditana de Minas (COLL MARTIN, 1983:421), que al comenzar el siglo se encuentra con la necesidad ineludible para su supervivencia de construir un ferrocarril, que sólo sería factible (ya que Caridad tenía reservas minerales por un valor ligeramente superior al coste de construcción de ferrocarril) si también transportaba el producto de las otras minas de Aznalcóllar, como así sucedió.

De esta forma, en 1905 La compañía Gaditana de Minas ya tenía finalizada la vía principal (que se extendió posteriormente mediante un ramal al pueblo de Gerena y mediante otro al de Aznalcóllar. La ampliación del ferrocarril hasta Aznalcóllar, que conllevó la construcción del puente metálico a través del río Crispinejo, se realizó de forma que en 1914 ya estaba en pleno rendimiento -LIBRERO, 1988:25-) por la que transportaba hasta el río Guadalquivir (a San Juan de Aznalfarache vía Camas) sus minerales bajos en cobre, que ahora explotaba a gran escala, así como los de la The Seville Sulphur y otras pequeñas compañías vecinas (COLL MARTIN, 1983:424-5).

El éxito de la operación fué considerable, de forma que parece que fué el transporte de mineral lo que daba beneficios a la Compañía Gaditana pero no así la explotación y comercialización de sus minerales, por lo que en 1907 cede la explotación del Grupo Caridad a la Sociedad Francesa de Piritas de Sevilla, que a su vez la cede el contrato a la Société Industrielle des Pyrites de Seville, con sede en París (PINEDO, 1963:460), concentrándose a partir de entonces exclusivamente en el transporte (COLL MARTIN, 1983: 425).

Más tarde, desde 1916, la compañía arrendataria de las concesiones del Grupo Caridad fué la Sociedad Minera y Metalúrgica Peñarroya que finalmente, tras formar una filial para explotar Caridad con el nombre de Compañía Minera Sevillana, electrificar el grupo Caridad y abrir el pozo Providencia (PINEDO, 1963: 460-464), abandona la explotación en 1926 al vencer el convenio entre Peñarroya y La Gaditana, siendo adquirida en 1930 por la The Seville Sulphur (ADMS, Expte 1151).

Aznalcóllar en el ámbito internacional del mercado de piritas

Como afirma Checkland (1967:87-88), un nuevo factor revolucionario entró, en la segunda mitad del siglo XIX, en la

historia de las minas de pirita: el azufre contenido en las piritas ibéricas era vendible.

Esta demanda de sulfuro vino de la industria química británica (los denominados “alkali makers”, por entonces con problemas de abastecimiento de azufre desde Silicia, su tradicional proveedor), en la que se utilizaba para la fabricación de ácido sulfúrico, empleado en multitud de procesos químicos y también en la producción de fertilizantes químicos. Así, las minas de la Faja Pirítica del Suroeste de la Península Ibérica ofrecían desde entonces dos productos principales: cobre y azufre, lo que atrajo a numerosas compañías interesadas en el control de unas materias primas que aseguraban su éxito tanto por los altos contenidos en azufre (sobre el 50%) como el también relativamente alto porcentaje de cobre (HARVEY, 1981:22).

Desde luego, como ya se ha mencionado, para el éxito comercial era imprescindible el transporte, en este caso el ferrocarril (HARVEY, 1981:21), ya que los minerales habían que exportarlos en bruto o semi tratados como pirita lavada (después de la supresión de la calcinación artificial), lo que suponía, de cualquier forma, el movimiento de un enorme tonelaje de producto.

Pero además del transporte, había otro aspecto tecnológico que hubo de ser resuelto con anterioridad. En el proceso de obtención del azufre de las piritas que se llevaba a cabo en las fábricas de los “alkali makers” británicos, se producía un producto residual denominado “cinder”, que contenía relativamente elevadas concentraciones de cobre. El reto tecnológico consistió en buscar un método metalúrgico para la extracción de ese contenido de cobre residual. A ese reto responde el escocés William Henderson, persona ya mencionada como fundador de la The Seville Sulphur, que en 1858 patentó un método para recuperar ese contenido de cobre, mezclando y calcinando las piritas (ya quemadas y con el azufre extraído) con 10-15% de sal común, iniciándose así “una nueva era en la historia de la extracción metálica”. Como ya se ha mencionado, el método de cloruración aún conservaba en su denominación el nombre de “Henderson” a finales de la década de los años 50 del presente siglo. Muy pronto, mediante el método Henderson se trataban 250.000 ton. de “cinder” al año en las numerosas plantas de tratamiento que se crean en Gran Bretaña. Ni España, ni siquiera Francia, podían ofrecer alternativa alguna a este sistema de exportación a gran escala de pirita cruda (CHECKLAND, 1967:96).

William Henderson (1827-1881) era un conocido metalúrgico con varios métodos patentados (PERCY, 1861:451), además del ya mencionado de cloruración, habiendo, por ejemplo, patentado en 1853 mejoras en la construcción de hornos especialmente destinados a la producción de ácido sulfúrico, dentro de su interés por el aprovechamiento integral de las piritas.

Tenía W. Henderson fuertes intereses en la industria química, habiéndose concentrado en el estudio de los posibles procesos metalúrgicos aplicables a las piritas ibéricas calcinadas en la fábrica de St. Rollox, Glasgow (CHECKLAND, 1967:95). Por esa conexión, Henderson estuvo involucrado activamente en la minería de Huelva, siendo gran accionista (en base a los beneficios de sus patentes) y directivo de la The Tharsis Sulphur and Copper Company Limited, fundada en 1866 con sede en Glasgow, para la explotación de las

minas de Tharsis, en término de Alosno (Huelva) (CHECKLAND, 1967:105).

La renuncia en 1870 a su puesto como directivo en la compañía de Tharsis, no hizo que perdiera interés por las piritas españolas, fundando su propia fábrica de extracción de cobre en Irvine, al Oeste de Escocia, en 1872.

En este contexto hay que situar la ya mencionada fundación por Henderson de la The Seville Sulphur & Copper Co Ltd., de la que era director, para la compra y explotación de buena parte de las concesiones mineras de Aznalcóllar.

Cuando muere en 1881, volvía de una visita a la The Seville Sulphur, “...no doubt the source of the pyrites he used at Irvine”. (CHECKLAND, 1967:119).

W. Henderson desarrolló proyectos empresariales relacionados con la industria minero-metalúrgica con diversos socios, entre ellos con John Wilson, director de la compañía Wilson & Son y sucesor de una saga familiar con larga tradición en la industria química.

Juntos experimentaron en la construcción de hornos para la calcinación de minerales y en sociedad, Henderson y Wilson formaron el Bridgewater Smelting Co. (CHECKLAND, 1967:95). Ambos estaban presentes en la reunión en Liverpool de los productores de alkali y los extractores de metales con el objetivo de crear una nueva compañía para explotar las piritas españolas bajo iniciativa británica (CHECKLAND, 1967:104). Así, estos datos otorgan plena significación a la presencia de los ladrillos refractarios, en especial los de la compañía Wilson & Son, de Barlinnie, en el yacimiento Canales de Cementación de Aznalcóllar.

La cementación en Aznalcóllar a través de la planimetría histórica

Aunque no se ha podido establecer a través de la planimetría histórica una fecha precisa para la construcción de los Canales de Cementación de Aznalcóllar estudiados, si se han establecido, a través de ella, fechas “ante” y “post quem”.

Hay que apuntar que el arco cronológico, bastante amplio, así establecido se podrá completar con la revisión de planimetría, ya vista con anterioridad para otros aspectos, (como un plano general de 1911) que esta siendo localizada.

Son tres los planos que han ofrecido información sobre el sistema de cementación en las minas de Aznalcóllar.

-Plano “*Aznalcóllar. General Plan. Silillos Mines. Sevilla, Spain. 11th Sept. 1875. James Worthspoon, Engineer*”.

Este plano fué restaurado, a nuestra iniciativa, en 1992 por la compañía Boliden-Apirsa, S.L. y actualmente se encuentra expuesto en sus oficinas generales de Aznalcóllar.

El plano está centrado en los trabajos mineros subterráneos de la zona de Silillos y, para lo que aquí interesa, muestra la existencia de un sistema de cementación que aprovecharía las aguas cupríferas de esa mina.

En la entrada de la galería de acceso a los trabajos, donde también estaba la bomba de desagüe, estaban situados dos estanques o pilones, denominados “Cementation Tanks”: el primero era rectangular, de dimensiones aproximadas de 9.1 x 15.2 mts., conectado con un segundo pilón también rectangular aunque de dimensiones más reducidas, 9 x 6 mts.

Este segundo pilón desaguaba en los denominados "Cementation Canals" (sic.), que consistía en un canal que corría paralelo al río (que erróneamente viene denominado como Guadiamar) por la margen derecha, lo cruzaba por el puente denominado "Cuchichon Bridge" para continuar paralelo al río por la margen izquierda hasta finalizar en otro tanque cuadrado de menores dimensiones (2.2 mts.), desde el que el agua pasaría al río. El total del recorrido de este canal sería de 200 mts.

Este plano, así pues, contiene la evidencia más antigua de la aplicación del método de obtención de cobre por cementación, en este caso cementación natural, en las minas de Aznalcóllar.

-Plano "The Seville Sulphur & Copper Co Ltd.. Minas de Aznalcollar. Plano General. Escala 1/1.000". A color y sin fecha (**Lámina VI**). Archivo de Boliden-Apirsa, S.L.

Su datación estimada es de los primeros años de la década de los años 20 del siglo XX y contiene datos, aunque no detalles, únicos sobre el yacimiento "Canales de Cementación", que por entonces estaría con todas sus partes íntegras y en pleno rendimiento. Los canales de cementación son denominados "Canales de Cuchichón", que se ven con su parte N. completa (destruida con anterioridad a la intervención), que incluía en el ángulo NO. un pilón cuadrangular, de 5 mts. de lado (debía cumplir la función de pilón repasador).

El sistema de canales formaba parte de un conjunto mucho más amplio, que se encuentra representado en esta planimetría, compuesto por el pilón o balsa con contrafuertes (que es el que se conservaba en el momento de la intervención) otro pilón inmediatamente al N. del primero y, al N. del canaleo, una serie de estructuras correspondientes a los denominados Lavadero y Secadero.

Además, al E. y SE. del complejo descrito se encuentran dos amplias zonas amesetadas en verde (Lámina VI), rodeadas por el S. y O. por una regata o canal, que son denominadas en la leyenda "vacies de esquisto".

Por ser un dato de interés, se menciona que en este plano también aparecen otros canaleos situados aguas arriba del río, en su margen derecha, al S. del pozo San Antonio, denominados "Canales de Higuiereta".

-Plano "The Seville Sulphur & Copper Co Ltd.. Minas de Aznalcollar. Spain. Surface Plan. Scale 1:3.000". Sin Fecha.

Este plano tiene una fecha y una información muy similar al tratado previamente, aunque ofrece información complementaria. Los datos de este plano fueron recogidos en 1992, estando por entonces en las oficinas generales de Boliden-Apirsa, S.L., en el departamento de Geología.

En el plano, en lo que a la cementación se refiere, aparecen (marcado sólo el contorno) tres zonas de Canaleos: los ya mencionados Canales de Cuchichón e Higuiereta (este



LÁM. VI. Canales de Cementación. Plano "The Seville Sulphur & Copper Co Ltd. Minas de Aznalcollar. Plano General". C. 1920. (Archivo Boliden-Apirsa, S.L.)

último de contorno rectangular con unas dimensiones de 80 x 18 mts.) y otra inmediatamente al S. de la estación de ferrocarril de Caridad (también de contorno rectangular y con los lados menores de N. a S., midiendo 120x14 mts.)

Respecto a los canales en los que se ha centrado la intervención arqueológica, los de Cuchichón, es importante mencionar que las dos mesetas antes citadas como “vacies de esquiato”, aparecen aquí designados como Cementación, estando rodeados por el S. y O. por una regata (así denominada en el plano) de una longitud total de más de 400 mts., que recogería las aguas, llevándolos a los dos tanques (denominados en el plano reposadores) de los que pasaría a los canales (así también titulados).

Estas superficies amesetadas, que corresponderían a las áreas denominadas “llanos o plazas”, ocuparían conjuntamente un área aproximada de 23.000 m². y en ellas se acumularía los materiales de baja ley de cobre, las pizarras y azufrones cobrizos, que, como indica Pinedo Vara (1963: 335-336, 337) se regarían “en plaza” para producir la lixiviación del cobre.

8. CONCLUSIONES

Aunque probablemente en uso con anterioridad a pequeña escala, en las minas de Aznalcóllar la primera referencia cierta a la utilización de la cementación es de 1875.

En la década de 1920 existían en este coto minero tres complejos de cementación, situados en los tres criaderos en los que se dividían las mineralizaciones: Caridad, Higuera (fundamentalmente dedicados a la cementación natural de las aguas procedentes de las labores mineras subterráneas) y Cuchichón, cuyos restos son los estudiados.

Los restos objeto de esta Intervención Arqueológica, denominados “Canales de Cementación”, formaban parte de un amplio complejo metalúrgico destinado a la producción de cobre por vía húmeda, en concreto por cementación artificial.

Este complejo metalúrgico estaba compuesto originariamente, según los datos obtenidos de la planimetría minera histórica, por diversas partes en donde se llevaban a cabo todas las fases necesarias para la obtención de cobre metálico: sulfatación, lixiviación y cementación, además de estructuras para tratamientos concretos complementarios.

Para la adaptación de la topografía original a los requerimientos de las edificaciones que el sistema hidrometalúrgico exigía, se llevó a cabo un considerable esfuerzo constructivo, que conllevó el aterrazamiento del terreno y, para asegurar los desniveles, la realización de potentes muros de contención.

La sulfatación y la lixiviación se llevaban a cabo en una amplia zona amesetada (plaza) formada por el depósito de los minerales con baja ley de cobre, donde eran regados, para, primero, su conversión en sulfato solubles y su lixiviación posterior.

Las aguas con el cobre en disolución eran recogidas en una regata perimetral, que la conducía a dos pilones reposadores, los cuales parece que estaban interconectados y de los que sólo se conservaba en el momento de la intervención el más meridional, que fué el estudiado en la Intervención.

Una vez que las partículas en suspensión se habían depositado en el fondo de los pilones (formando un depósito limoso mineralizado con muy escaso contenido de cobre), el agua “ácida” o “lejía” pasaba a los canales de cementación, a los denominados “Canales de Cuchichón”, la otra parte del complejo conservada en el momento de la Intervención Arqueológica.

Estos canales, dispuestos de forma simple o doble (canales “gemelos”) y con andenes laterales, fueron realizados exclusivamente en madera (con tres especies diferentes de “Pinus”) y han resultado representar un ejemplo magnífico de este tipo de estructura, además de suponer una gran obra de carpintería minero-metalúrgica, de la que se extrajo una sección (CCA/99-15) para su consolidación, conservación y, en su caso, exposición futura.

Integrados en las estructuras de estos canales, en los que se documentaron modificaciones y reformas puntuales, aparecieron diversos elementos arqueológicos que son la evidencia material de la proyección de las Minas de Aznalcóllar en un contexto internacional y de su explotación por intereses foráneos, que se concretan en la compañía The Seville Sulphur & Copper Company Limited, con sede en Glasgow y creada por uno de los químicos-metalúrgicos más conocidos en su época, William Henderson.

Estos elementos arqueológicos, además del posible origen escocés de parte de las maderas utilizadas en los canales, son fundamentalmente los ladrillos refractarios con marca de fabricante, cuyo estudio completo requeriría una ampliación de la investigación en archivos británicos.

El sistema de canalero estudiado terminaba, según la planimetría histórica, en un “pilón repasador” (que no se conservaba), por el que pasaban las aguas, ya con escasas ppm de cobre (que había precipitado en los canales en presencia de la chatarra de hierro en ellos depositada), antes de ser vertidas en el cauce del río.

Todo el sistema descrito se completaba, también en base a los datos que ha proporcionado la planimetría minera histórica, ya que estaba casi absolutamente destruido, con un Lavadero y un Secadero, donde era tratado el cobre metálico producido, denominado “cáscara”.

Este cobre, la “cáscara”, producido sería exportado sin refinar, ya que no se tiene ningún dato que respalde que en las Minas de Aznalcóllar se llevaran a cabo operaciones de refinado por fundición, ni tampoco de tratamiento por fusión de los minerales de más alta ley en cobre que ocasionalmente se extraían de la zona de enriquecimiento secundario de los filones.

Por otro lado, también hay que considerar que la importación de ladrillos refractarios (reaprovechados y sin evidencias de escoriación u otros efectos térmicos) apuntan a, o un proyecto frustrado de refinado/fundición a pié de mina, o simplemente a la realización de ensayos con minerales o con el cobre metálico.

En cuanto a la cronología del yacimiento “Canales de Cementación”, al ser los de Cuchichón los únicos “llanos o plazas” constatados hasta la década de 1920 y conocerse que esas “plazas” eran regadas para obtener cobre desde 1904 (la producción máxima se sitúa en 1908 con 378 tons. de cáscara de cobre), se considera que la construcción del sistema de

cementación del que formaría parte los restos que conformaban el yacimiento “Canales de Cementación” se llevó a cabo a fines del siglo XIX, habiéndolo estado en uso hasta finales de la década de 1950 o principios de la de 1960.

Si se considera esta fecha como válida, la pieza recuperada en el yacimiento, denominada CCA/99-10, una teja fabrica-

da en Marsella y que se podría poner en conexión con la presencia en las minas de Aznalcóllar de la francesa Sociedad Minera y Metalúrgica Peñarroya (1952 a 1960) y representar cronológicamente el momento final del uso del sistema hidrometalúrgico que se ha estudiado.

Bibliografía

- AGRICOLA, G. (1950) De Re Metallica. Traducido por H.C. Hoover y L.H. Hoover. Dover Publications, New York.
- AVERY, D. (1974) Not on Queen Victoria's Birthday. Collins, London.
- BARBA, A.A. (1639) Arte de los Metales. Edición a cargo del CSIC, 1992. Madrid.
- CHECKLAND, S.G. (1967) The Mines of Tharsis. George Allen & Unwin, London.
- COLL MARTIN (1983) Las Empresas Mineras del Sudoeste Español, 1850-1914. En: ANES,G., ROJO, L.A. y TEDDE, P. (Eds.) Historia Económica y Pensamiento Social. Alianza Universidad, Madrid.
- FRIAS GOMEZ,C. y SANCHEZ DIAZ,F.J. (1988) El proceso productivo anterior a la colonización inglesa. Actas del I Congreso Nacional Cuenca Minera de Riotinto: 485-505. Gráficas Nerva. Nerva (Huelva).
- FOX, A. (1990) Aznalcóllar. Mining Magazine. January: 20-25.
- GONZALEZ, T. (1832) Registro y Relación General de Minas de la Corona de Castilla. Madrid.
- GONZALEZ VILCHEZ, M. (1981) Historia de la Arquitectura Inglesa en Huelva. Universidad de Sevilla/Diputación Provincial de Huelva.
- GONZALO Y TARIN, J. (1887) Descripción Física, Geológica y Minera de la provincia de Huelva. Tomo II. Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España. Madrid.
- HARVEY, C.E. (1981) The Rio Tinto Company. Alison Hodge, Penzance.
- HOFMAN, H.O. (1913) General Metallurgy. McGraw-Hill, New York.
- HUNT ORTIZ, M.A. (1993) Aznalcóllar. Fase I: Prospección Arqueológica Superficial. Sin publicar. Archivo Dirección General Bienes Culturales. Junta de Andalucía.
- HUNT ORTIZ, M.A. (1994) El Foco Metalúrgico de Aznalcóllar, Sevilla. Técnicas Analíticas aplicadas a la Arqueometalurgia del Suroeste de la Península Ibérica. Actas del Congreso Tartessos 25 Años Después: 447-473. B.U.C., Jerez (Cádiz).
- HUNT ORTIZ, M.A. (1994,a) Minería y Metalurgia Pre-Romanas en las Minas de Aznalcóllar (Sevilla). Revista de Arqueología, nº 158: 36-41. Zugarto Ediciones, Madrid.
- JORNET,A. BLACKMAN,M.J. y OLIN,J.S. (1985) 13th. to 18th. Century Ceramics from the Paterna-Manises Area (Spain). En: Ceramics and Civilization: 235-255. The American Ceramic Society, Washington D.C.
- LIBRERO,P. (1988) Reseña Histórica del Pueblo. Revista Aznalcóllar Fiestas Patronales Ntra. Sra. de Fuente Clara: 12-26. Ayto. de Aznalcóllar.
- LIBRO BLANCO DE LA MINERIA ANDALUZA (1986) Consejería de Economía y Fomento. Junta de Andalucía
- MADOZ, P. (1854) Diccionario Geográfico, Estadístico, Histórico de España y sus posesiones de Ultramar. Edición Facsimil de Ambito Ediciones, 1986, Madrid.
- MAGGETTI,M., WESTLEY,H. y OLIN,J.S. (1984) Provenance and Technical Studies of Mexican Majolica Using Elemental and Phase Analysis. En: LAMBERT, J.B. (Ed.) Archaeological Chemistry-III. American Chemical Society, Washington, D.C.
- PERCY, J.(1861) Metallurgy. Fuel, Fire-Clays,Copper,Zinc,Brass: Vol.I, Part 1 & 2. John Murray, London.
- PEREZ LOPEZ, J.M. (1994) Las Calcinaciones al aire libre: “Las Teleras”. Catálogo Monográfico nº 1. Fundación Río Tinto.
- PINEDO VARA, I. (1963) Piritas de Huelva. Editorial Summa, Madrid.
- RHEAD,E.L. (1957) Metalurgia. Editorial Labor, Barcelona.
- RHODES, D. (1987) Hornos para ceramistas. Ediciones Ceac, Barcelona.
- RUA FIGUEROA, R.(1868) Minas de Río-Tinto. Coruña.
- SALKIELD,L.U. (1987) A Technical History of the Rio Tinto Mines: Some notes on exploitation from pre-Phoenician times to the 1950s. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- SHARP, D.W.A. (1987) Dictionary of Chemistry. Penguin Reference Books.
- SIERRA, J. (1990) The massive sulphide deposit of Aznalcóllar, Spain, Iberian Pyrite Belt: review of geology and mineralogy. En: Sulphide Deposits, Their Origin and Processing: 37-47. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- THE ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (1911). The Encyclopaedia Britannica Company, New York.
- VAZQUEZ GUZMAN, F. (1987) The Mining Industry in Spain. I.G.M.E., Madrid.
- WHITTEN,D.G.A. y BROOKS, J.R.V. (1985) Dictionary of Geology. Penguin Reference Books.