

Análisis de los materiales metalúrgicos de los yacimientos ibéricos del Castell de Almenara y Torre de la Sal (Castellón)

Pablo Adelantado Lliso*

Resumen

Se presenta en el siguiente artículo los resultados de los análisis de los materiales metalúrgicos de los yacimientos ibéricos de Torre la Sal y del Castillo de Almenara, ambos en la provincia de Castellón. Se ha prestado especialmente atención a los procesos metalúrgicos realizados dichos yacimientos.

Resum

En aquest article es presenten les conclusions respecte als processos metal·lúrgics utilitzats en els jaciments d'època ibèrica de Torre la sal y el Castell de Almenara (Castelló) en base a l'anàlisi dels seus materials metal·lúrgics.

EL PROCESO METALÚRGICO

Los minerales metálicos transformados en la antigüedad, tales como cobre o hierro, raramente aparecen en la naturaleza de forma pura, sino que se encuentran acompañados de impurezas conocidas como ganga. Para separar el metal de la ganga es necesario someter el mineral a un proceso de reducción en un horno. La sílice es el principal componente de la ganga, y durante la reducción se combina con parte del óxido de hierro presente formando la escoria, cuyo componente más habitual es la fayalita (Fe^2SiO^4). El punto de fusión de la escoria es variable dependiendo de su composición exacta, pero suele ser del orden de los 1150° ó 1200°C , temperatura que normalmente se alcanzaba en los antiguos hornos metalúrgicos, por lo que la escoria se mantendría en el interior de éstos en estado líquido. La fluidez alcanzada permite que la escoria se acumule en el fondo del horno o bien sea evacuada a través de un orificio en su base (dando lugar a una característica escoria de reducción negro-azulada de gran densidad).

La temperatura conseguida en el horno de reducción permitía que el cobre alcanzase también el estado líquido y al tener una densidad diferente que la escoria líquida, quedaba físicamente separada de ésta. Habiéndose obtenido de este modo cobre metálico se podían fabricar con él utensilios (empleando metal puro o en aleación con otros metales) fundiéndolo en un crisol y vertiéndolo sobre moldes.

Al contrario que el cobre, el hierro no alcanza en ningún momento del proceso de reducción el estado líquido pues su punto de fusión es de 1540°C , temperatura que no será posible alcanzar en un horno hasta el final de la época medieval. A temperaturas menores las partículas de hierro formadas por la reducción del mineral adquieren una consistencia viscosa y se conglomeran formando una masa esponjosa conocida como lupia o changuete. Durante el proceso de formación de ésta, gran cantidad de escoria, aunque químicamente separada del metal, quedaba físicamente atrapada en su interior. La presencia de escoria en el metal obtenido lo hacía inútil para la fabricación de uten-

* Arqueólogo. C/ Jaime II, 21, 3º, 6. 46700 Gandía.

silios, por lo que se hacía necesario un proceso posterior de purificación por cinglado o martilleado en caliente, que permite expulsar la escoria atrapada y consolidar un lingote de hierro metálico (la escoria resultante durante este proceso es menos densa que la producida durante la reducción del mineral).

La elevada temperatura de fusión del hierro hace inviable la técnica de colar el metal en moldes debiendo producirse los artefactos por martilleado en caliente o forja.

METODOLOGÍA

Cada fase del proceso metalúrgico genera residuos característicos. El estudio de estos residuos resulta interesante ya que en la mayoría de los yacimientos arqueológicos su presencia constituye el único indicio de actividad metalúrgica y puede proporcionar valiosa información respecto del tipo de metal procesado, la tecnología empleada y las fases concretas del proceso de producción que se llevaban a cabo en el yacimiento.

Para obtener la mayor cantidad de información a partir de los residuos metalúrgicos es necesario determinar, mediante análisis, las características fundamentales de cada muestra: apariencia externa, magnetismo, composición química y estructura cristalina. Los materiales procedentes de los dos yacimientos castellanenses fueron analizados de acuerdo con la siguiente metodología:

1.- Las muestras fueron sometidas a una inspección visual, pesadas y medidas.

2.- La naturaleza magnética de las muestras fue determinada mediante el empleo de un imán.

3.- Se obtuvo la composición química de los materiales mediante el método ICP (Inducción de Plasma Acoplado). Este método presenta el inconveniente de no determinar el contenido en sílice, principal componente de las escorias metalúrgicas.

4.- La estructura cristalina de las muestras fue determinada empleando técnicas de metalografía microscópica (pulidos metalográficos). Los resultados obtenidos fueron complementados y contrastados mediante análisis por Difracción de Rayos X (XRD).

5.- Por sus especiales características que presentaba la muestra *b* del Castell de Almenara se obtuvo de ella una lámina delgada similar a las empleadas para el análisis de materiales cerámicos.

Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de la "School of Archaeological Studies" de la universidad de Leicester (R.U.) bajo la supervisión del Dr. Graham Morgan.

MATERIALES DEL CASTELL (ALMENARA)

El material procedente del yacimiento de "El Castell" está compuesto por un conjunto de 10 fragmentos recuperados en el nivel de cenizas de la habitación B en el curso de las excavaciones efectuadas por el SIAP en 1976 (Gusi, Sanmartí, 1976). Un primer examen visual de los materiales permite separarlos en dos grupos diferentes:

a) Uno de los nódulos difiere claramente del resto tanto en color como en aspecto general, destacando especialmente por su mayor peso.

b) Las otras nueve muestras son muy similares entre sí y se caracterizan por su porosidad y ligereza. La mayor parte de estos fragmentos muestran en sección una estructura estratificada: presentan una superficie lisa y brillante de color negruzco bajo la que aparece un material de color grisáceo y marcada porosidad, material que gradualmente va dando paso a una última capa de color rojizo y apariencia terrosa.

El primero de los nódulos (que de ahora en adelante denominaremos muestra *a*) presenta una gran densidad y homogeneidad, mostrando escasas vesículas gaseosas. Estas características, así como su coloración negra y el brillo metálico del material lo sitúan dentro de la categoría de las escorias de reducción. Su composición química permite además precisar que se trata de una escoria de reducción de mineral de hierro pues su contenido en cobre es inferior al 0,50 por ciento (Tylecote, 1987). La difracción de rayos X muestra fases de wüstita y magnetita, siendo el alto contenido de este óxido de hierro el que confiere a la muestra propiedades magnéticas.

Los otros nueve fragmentos (agrupados como muestra *b*) deben ser clasificados sin lugar a dudas como material cerámico vitrificado (los materiales arcillosos contienen silicatos que al ser calentados a temperaturas próximas a 1000°C se vitrifican por la reacción de la sílice con los alcalinos de las brasas (Bayley, 1985)). En las muestras de "El Castell" la superficie directamente expuesta a la fuente de calor se ha vitrificado mientras que el material no expuesto directamente ha preservado su estado original. El examen de la superficie vidriada no reveló la existencia de partículas metálicas adheridas.

La metalografía obtenida mostró una estructura compuesta por silicatos alcalinos con inclusiones de cuarcita. El examen de la lámina delgada revela que estas inclusiones son de tamaño regular y formas angulosas lo que puede interpretarse como una adición intencionada destinada a mejorar las propiedades refractarias del material.

Los resultados obtenidos permiten concluir que las muestras analizadas son fragmentos del revestimiento refractario de un horno (Freestone, 1989). La coloración del material no vitrificado denota que estaba sometido a un ambiente reductor, lo que descarta la posibilidad de que formara parte de un hogar abierto. Se trataría por lo tanto de un horno cerrado destinado a la cocción de cerámica o a la reducción de minerales metálicos, sin que los análisis efectuados permitan pronunciarse a favor de una u otra posibilidad.

La presencia de un fragmento de escoria de reducción de hierro junto a estos fragmentos de revestimiento refractario en un nivel arqueológico caracterizado por la abundancia de ceniza hace muy probable que nos encontremos ante los restos de un horno de reducción de mineral de hierro. Es poco lo que conocemos sobre el funcionamiento de los hornos siderúrgicos ibéricos, pero basándonos en modelos contemporáneos podemos suponer que era necesaria la destrucción de la estructura para permitir la extracción de la lupía o changote tras cada hornada. Por ello, la aparición de estos restos no implica necesariamente la existencia de un horno en la habitación B de El Castell, sino que los desechos resultantes de la actividad siderúrgica pueden haber sido arrojados a un vertedero o haber sido empleados como relleno para nivelar el terreno.

MATERIALES DE TORRE DE LA SAL (RIBERA DE CABANES)

Los materiales procedentes del yacimiento de Torre de la Sal fueron recuperados en el curso de prospecciones superficiales en un área de playa. Las condiciones de humedad, salinidad y erosión por rodamiento a que estuvieron expuestos pueden haberlos alterado y eso debe ser tenido en consideración a la hora de interpretar los resultados de los análisis.

Los materiales estudiados comprenden siete nódulos amorfos (que denominamos muestras *a* a *g*). El reducido tamaño de las muestras impidió que se llevara a cabo una analítica completa ya que ello hubiera supuesto su total destrucción y la imposibilidad de contrastar en el futuro los resultados obtenidos. Así, con la excepción de la muestra *e*, los materiales fueron sometidos únicamente a un examen visual y a la obtención de una sección metalográfica.

Las características morfológicas de la muestra *a* corresponden con las de una escoria de reducción de mineral metálico: densa, pesada y

con escasas vesículas gaseosas concentradas cerca de la superficie. El examen metalográfico confirmó esta impresión mostrando una estructura de dendritas de óxido de hierro (wüstita probablemente) sobre una matriz fayalítica. La presencia de inclusiones de hidróxidos de hierro (producto de la corrosión) pero también de unas pocas partículas de hierro metálico permite determinar que estamos ante una escoria de reducción de hierro, ya que en escorias derivadas de la metalurgia del cobre o del plomo nunca aparecen inclusiones de hierro metálico (Bachman, 1982).

La sección metalográfica de la muestra *b* reveló que estaba compuesta en su totalidad por hidróxidos de hierro con algún pequeño resto de hierro metálico. Se trataba por tanto de un fragmento de hierro metálico que aparece ahora totalmente alterado por la corrosión. Su estado hace imposible determinar la morfología original de la pieza.

La muestra *c* presentaba un magnetismo muy acentuado así como una gran dureza (resultó especialmente difícil obtener una sección empleando una sierra radial). Esto responde a que la muestra presenta un núcleo de hierro metálico puro rodeado por una capa de corrosión (hidróxidos de hierro). En la metalografía eran visibles diminutas inclusiones de escoria atrapadas en el núcleo metálico. La sección pulimentada fue atacada con nital de modo que la estructura cristalina del hierro resultó visible, mostrando una composición de cristales de ferrita. Nos encontramos por lo tanto ante un fragmento de hierro dulce, no sometido a ningún proceso de carburación ni endurecimiento. Esta muestra es por tanto otro fragmento de hierro metálico, menos afectado por la corrosión que la muestra *b*, pero siendo igualmente imposible determinar su aspecto original.

El aspecto de la muestra *d* es muy peculiar: muestra una estructura claramente estratificada en la que un material magnético cementa un conglomerado de partículas minerales (calizas y areniscas). En la sección metalográfica el componente magnético presenta una estructura similar a los hidróxidos de hierro. Es difícil determinar si nos encontramos ante un material de origen natural o artificial: los minerales presentes son comunes en el área, y las cementaciones por óxidos de hierro no son un fenómeno desconocido en la naturaleza. Sin embargo las propiedades magnéticas y la apariencia general del nódulo parecen señalar un origen artificial. Es difícil imaginar como pudo

haberse formado un material como éste: tal vez una gota de hierro líquido fuera expulsada durante una operación de martilleado en caliente sobre un yunque y al caer en el suelo se enfriase atrapando algunas partículas de arena o grava. Con la información disponible esto no puede dejar de ser una mera especulación.

Como ya se ha indicado el mayor tamaño de la muestra e permitió que se llevase a cabo sobre ella un análisis mucho más completo que los efectuados al resto de material proveniente de Torre de la Sal. La morfología y coloración del nódulo permitían situarlo con bastante seguridad dentro de la categoría de escoria de reducción, aspecto que se vio confirmado por la metalografía, en la que se apreciaban dendritas de wüstita en una matriz silíceo. La difracción de rayos X detectó la presencia de otro metal: monticellita. Este material aparece en escorias con bajo contenido de SiO₂ y alto contenido de CaO, esto es, en algunas escorias de plomo (Bachman, 1982). El contenido de CaO en la muestra es superior a lo habitual, mientras que el contenido en sílice no puede ser determinado por el análisis ICP efectuado. Un contenido en plomo de 1 a 10 por ciento permitiría confirmar que la muestra es producto de la metalurgia del plomo (Rostoker y Gebhard, 1981), por desgracia el porcentaje de este metal tampoco viene determinado en los resultados del análisis efectuado. Por lo tanto, y mientras no se efectúen un estudio más completo clasificaremos la muestra e como escoria de reducción de un mineral metálico, probablemente plomo.

La muestra f presentaba en sección una gran densidad, una coloración negro-azulada y un característico brillo metálico que permitían clasificarla como escoria de reducción. El nódulo presenta numerosas vesículas tanto en superficie como en el exterior, pareciendo, por el aspecto de estas vesículas, que su formación se debe a la corrosión favorecida por condiciones ambientales a las que estuvo sometida la muestra en el yacimiento y que explican también el aspecto herrumbroso de su superficie. El estudio del pulido metalográfico parece confirmar este punto ya que muestra una fase de dendritas de óxido de hierro (tal vez wüstita) en una matriz silíceo en la que aparecen abundantes vesículas de aspecto irregular, muy diferentes a las formadas por burbujas gaseosas. Con la información disponible se puede afirmar con seguridad que la muestra es una escoria de

reducción, no siendo posible determinar que metal se pretendía obtener en esta operación.

La muestra g es en rasgos generales similar a la f, aunque muestra signos de corrosión mucho más acentuados. Así en la muestra g las vesículas de corrosión son más numerosas y la superficie muestra una apariencia aun más herrumbrosa. Las fases cristalinas identificadas son las mismas que en el caso anterior, pero ahora la matriz silíceo (que parece más sensible a la corrosión) prácticamente ha desaparecido. En la muestra g la presencia de inclusiones de hidróxidos de hierro puede considerarse como evidencia de que se trata de una escoria de reducción de mineral de hierro.

En resumen, los análisis efectuados permiten la siguiente clasificación de las muestras procedentes del yacimiento Torre de la Sal:

- a - Escoria de reducción de hierro
- b - Fragmento de hierro afectado por la corrosión
- c - Fragmento de hierro dulce afectado por la corrosión
- d - Indeterminado
- e - Escoria de reducción ¿de plomo?
- f - Escoria de reducción de un metal indeterminado
- g - Escoria de reducción de hierro

La información extraída del análisis de los materiales evidencia que en el yacimiento de Torre de la Sal se llevaban a cabo actividades de reducción de hierro y probablemente también de plomo. Esto demuestra que las actividades de transformación del metal se llevaban a cabo en el mismo asentamiento, hasta donde el mineral sería transportado desde los afloramientos de plomo y hierro situados hacia el interior a 4 y 6 kilómetros respectivamente del yacimiento (IGME. Mapa Metalogenético de España, hoja 48). Dado que otros materiales arqueológicos (ánforas Dressel 1 y Lamboglia 2) han demostrado la existencia de contactos comerciales con Italia (Fernández, 1988), existe la posibilidad de que la producción metalúrgica atestiguada estuviera destinada a la exportación, en una época (finales del siglo III aC a inicios del siglo I aC.) en que las riquezas mineras de Hispania habían pasado a ser propiedad del pueblo romano y eran intensamente explotadas en arrendamiento por *societates publicanorum* (Domergue, 1994). Son conocidas durante este periodo la importancia de las exportaciones de plata y plomo en lingotes desde Cartago Nova y la competencia que el hierro hispano hacía al de Elba en el mercado itálico.



Figura 1. El Castell "a" (x 100). Grandes granos de magnetita (gris claro) sobre matriz fayalítica.

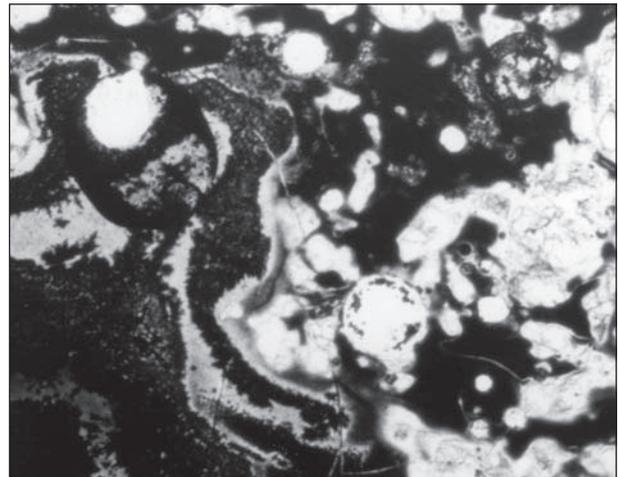


Figura 2. El Castell "b" (x 40). Lámina delgada del área vitrificada. Se aprecian burbujas de vitrificación.

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

1) El Castell. Muestra "a".

Clasificación. Escoria de horno de reducción de mineral de hierro.

Morfología. Amorfo.

Vesicularidad. Muy denso. Algunas burbujas de gas de pequeño tamaño.

Coloración. Negro. Brillo metálico en sección.

Magnetismo. Magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
El Castell "a"	40,00	4,10 x 3,80 x 1,60

Composición química:

Elemento	partes por millón (ppm)	Óxido	%
Al	8092	Al ₂ O ₃	1,52
Ca	6554	CaO	0,91
Cu	536		
Fe	602623	Fe ₂ O ₃	86,08
Mg	2165	MgO	0,26
Mn	980	MnO	0,12
Ni	159		

Difracción de rayos X:

Fases: Magnetita (Fe₃O₄), (TiO₂ polimorfo), Silimanita? (Al₂SiO₅), (Fayalita) (Fe₂SiO₄), Wüstita (Feo).

Sección metalográfica:

Grandes granos de magnetita embebidos en una matriz fayalítica. Cristales de fayalita claramente

visibles. En algunas áreas las superficies de los granos de magnetita están en contacto sin quedar matriz entre ellos (Fig.1).

2) El Castell. Muestra "b".

Clasificación. Arcilla vitrificada. Probable revestimiento refractario de un horno.

Morfología. Muchos de los fragmentos presentan dos áreas diferenciadas: un área vitrificada, de superficie suave, y un área de apariencia terrosa. Ambas presentan numerosas inclusiones minerales.

Vesicularidad. Las partes vitrificadas presentan numerosas burbujas de gas de pequeño tamaño.

Coloración. Las partes vitrificadas presentan un color gris oscuro. Las áreas terrosas son de color marrón rojizo.

Magnetismo. No magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
El Castell "b", 1	16,10	3,60 x 3,30 x 1,40
El Castell "b", 2	20,30	3,70 x 2,50 x 2,50
El Castell "b", 3	16,90	3,00 x 2,20 x 2,70
El Castell "b", 4	9,00	2,50 x 2,40 x 1,80
El Castell "b", 5	4,40	2,50 x 1,60 x 1,20
El Castell "b", 6	3,70	2,30 x 1,50 x 1,50
El Castell "b", 7	3,00	1,90 x 1,50 x 1,30
El Castell "b", 8	2,00	1,50 x 1,40 x 1,20
El Castell "b", 9	1,70	1,30 x 1,10 x 1,00
El Castell "b", total	77,10	

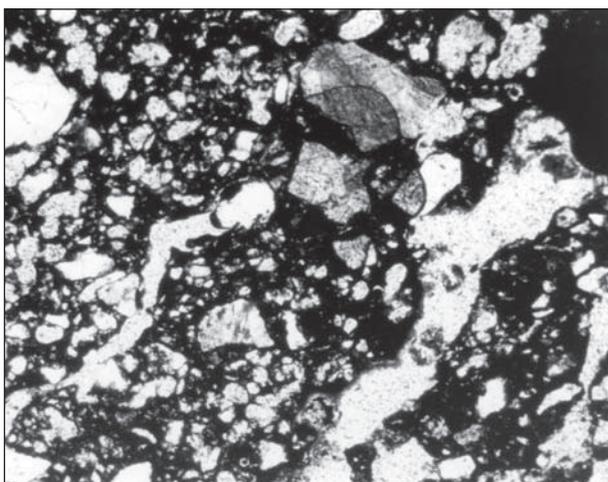


Figura 3. El Castell "b" (x 40). Lámina delgada del área no vitrificada. Se aprecian inclusiones angulares

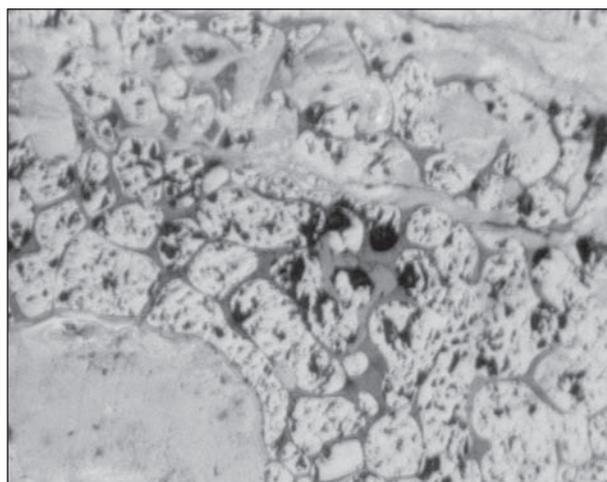


Figura 4. Torre de la Sal "a" (x 100). Grandes granos de óxido de hierro (gris claro) en matriz fayalítica.

Composición química (área vitrificada):

Elemento	partes por millón (ppm)	Óxido	%
Al	60975	Al ₂ O ₃	11,50
Ca	17657	CaO	2,46
Cu	38		
Fe	49860	Fe ₂ O ₃	7,12
Mg	10870	MgO	1,81
Mn	1819	MnO	0,23
Ni	36		

Difracción de rayos X (área vitrificada):

Fases: Cuarzo (SiO₂), (Silimanita?) (Al₂SiO₅), +??(fase desconocida), (Fayalita) (Fe₂SiO₄).

Sección metalográfica (área vitrificada):

Principalmente se observa una matriz silíceo con algunos cristales de fayalita embebidos y algunos cristales diminutos de óxido de hierro (Fig 2, 3).

3) Torre de la Sal. Muestra "a".

Clasificación. Escoria de horno de reducción de mineral de hierro.

Morfología. Concavo-convexo. En sección se aprecian capas superpuestas.

Vesicularidad. Denso, muy pesado. Presenta algunas pequeñas burbujas de gas en la parte inferior. Coloración. Negro azulado. Brillo metálico en sección.

Magnetismo. Magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "a"	17,20	2,10 x 2,10 x 1,80

Sección metalográfica:

Grandes granos de óxido de hierro (magnetita o wüstita) embebidos en una matriz fayalítica (los cristales de fayalita son claramente visibles). Aparecen inclusiones de hidróxidos de hierro con pequeñas gotas de hierro metálico en su interior (Fig. 4).

4) Torre de la Sal. Muestra "b".

Clasificación. Fragmento de hierro metálico totalmente corroído.

Morfología. Amorfo.

Vesicularidad. Muy denso y pesado. Sin burbujas de gas.

Coloración. Negro. Brillo metálico en sección.

Magnetismo. Magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "b"	6,00	1,70 x 1,70 x 0,90

Sección metalográfica:

Matriz de hidróxido de hierro con escasas partículas de hierro metálico embebidas (Fig. 5).

5) Torre de la Sal. Muestra "c".

Clasificación. Fragmento de hierro dulce.

Morfología. Amorfo.

Vesicularidad. Presenta algunas burbujitas de gas. Muy denso. Extremadamente duro.

Coloración. Superficie herrumbrosa. Metálico en sección.

Magnetismo. Magnético.



Figura 5. Torre de la Sal "b" (x 100). Fase de hidróxido de hierro producida por la corrosión total del hierro metálico.

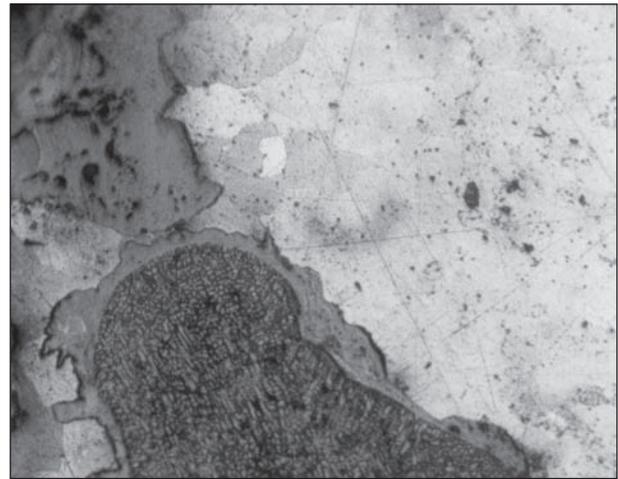


Figura 6. Torre de la Sal "c" (x 100). Hierro dulce con estructura de ferrita (gris claro).

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "c"	11,70	1,80 x 1,60 x 1,30

Sección metalográfica:

Núcleo de hierro metálico en el que se aprecia (después de atacar la sección con nital) una estructura de ferrita. Atrapadas en el interior del núcleo metálico se aprecian partículas y vetas de escoria (dendritas de óxido metálico sobre matriz fayalítica). El núcleo de hierro se encuentra rodeado por una capa superficial de hidróxidos de hierro (corrosión) (Fig. 6).

6) Torre de la Sal. Muestra "d".

Clasificación. Indeterminado. ¿Residuo de forja?
 Morfología. Discoide. Estructura en capas. Numerosas inclusiones minerales visibles a simple vista.
 Vesicularidad. No demasiado denso. Textura arenosa. Algunas burbujas de gas.
 Coloración. Principalmente gris en sección. Superficie parduzca.
 Magnetismo. Magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "d"	5,40	2,30 x 2,10 x 1,00

Sección metalográfica:

Una matriz de hidróxidos de hierro cementa un conglomerado de fragmentos minerales. Se aprecia claramente una estructura en capas superpuestas.

7) Torre de la Sal. Muestra "e".

Clasificación. Escoria de horno de reducción, probablemente de plomo.
 Morfología. Amorfo.
 Vesicularidad. Muy denso y pesado. Algunas burbujas de gas pequeñas cerca de la superficie.
 Coloración. Negro azulado. Superficie herrumbrosa.
 Magnetismo. Ligeramente magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "e"	30,00	5,20 x 3,00 x 1,50

Composición química:

Elemento	partes por millón (ppm)	Óxido	%
Al	13.557	Al ₂ O ₃	2,55
Ca	45.582	CaO	6,70
Cu	212		
Fe	496.053	Fe ₂ O ₃	70,86
Mg	4306	MgO	0,71
Mn	6253	MnO	0,81
Ni	39		

Difracción de Rayos X:

Fases: Wüstita (FeO), Monticelita (CaMgSiO₄), (Silimanita?) (Al₂SiO₅).

Sección metalográfica:

Dendritas de wüstita claramente visibles sobre una matriz silíceas (Fig. 7).

8) Torre de la Sal. Muestra "f".

Clasificación. Escoria de horno de reducción.
 Morfología. Amorfo.

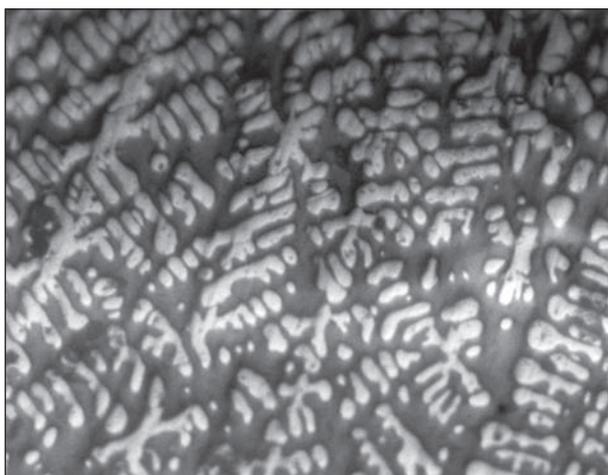


Figura 7. Torre de la sal "e" (x 100). Dendritas de wüstita (gris claro) en una matriz silíceea (gris oscuro).

Vesicularidad. Bastante vesicular. Bastante denso y pesado.

Coloración. Negro azulado. Algo herrumbroso en la superficie.

Magnetismo. Ligeramente magnético.

Sección metalográfica:

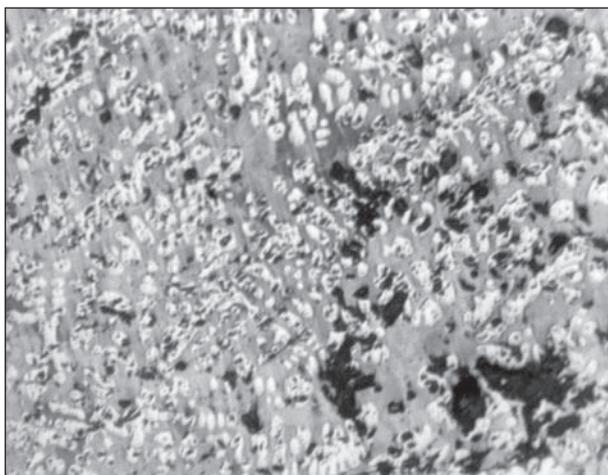


Figura 8. Torre de la Sal "f" (x 100). Dendritas de óxido ferroso sobre una matriz silíceea más oscura. Se aprecian numerosas vesículas de corrosión (negro).

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "f"	7,50	3,20 x 1,30 x 1,00

Dendritas de ¿wüstita? embebidas en una matriz silíceea (Fig. 8).

9) Torre de la Sal. Muestra "g".

Clasificación. Escoria de horno de reducción, probablemente de mineral de hierro.

Morfología. Amorfo.

Vesicularidad. Muy vesicular.

Coloración. La sección muestra áreas de color negro y otras herrumbrosas. Superficie herrumbrosa.

Magnetismo. Ligeramente magnético.

Muestra	Peso en gramos	Dimensiones máximas en centímetros
Torre de la Sal, "g"	8,40	3,50 x 1,60 x 1,20

Sección metalográfica:

Dendritas de wüstita embebidas en una matriz silíceea muy afectada por la corrosión. Se aprecia lo que parece ser hidróxido de hierro alrededor de las grandes burbujas de gas (Fig. 9).

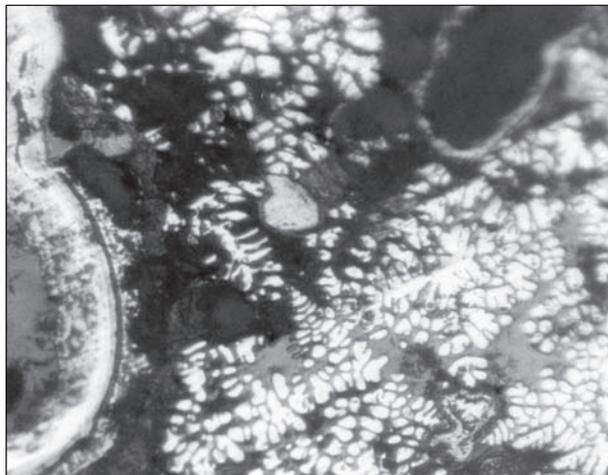


Figura 9. Torre de la sal "g" (x 100). Dendrita de óxido de hierro (blanco) en una matriz silíceea muy afectada por la corrosión (negro).

BIBLIOGRAFÍA

- BAYLEY, J. (1985): *What's what in ancient technology: an introduction to high-temperature processes*. En Philips (ed.) *The archaeologist and the laboratory*, pp. 41-44. CBA Research Report, 59.
- BACHMAN, H.G. (1982): *The identification of slags from archaeological sites*. Institute of Archaeology, Occasional Publication, 6. London.
- DOMERGUE, C. (1994): *Les conditions d'exploitation des mines d'Espagne a l'epoque republicaine: conditions juridiques, techniques, socio-economiques*. Actas del congreso El siglo de los Escipiones: testimonios directos (Sagunto, 1994). Valencia.
- FERNÁNDEZ, A. (1988): *El poblado ibérico de la Torre de la Sal (Ribera de Cabanes, Castellón): campaña de excavaciones 1985-1988*. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonense, 13, pp. 227-274. SIAP. Diputació. Castellón de la Plana.
- FREESTONE, I. C. (1989): *Refractory materials and their procurement*. Actas del congreso Old World Archaeology (Heidelberg, 1987). Selbstverlag des Deutschen Gergbau-Museums. Bochum.
- GUSI, F., SANMARTÍ, E. (1976): *Noticia acerca de las excavaciones realizadas en el poblado ibérico del Castell (Almenara). Campaña 1976*. Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonense, 3, pp. 289-290. SIAP. Diputació. Castellón de la Plana.
- IGME (1974): *Mapa Metalogenético de España. Hoja 48*. Madrid.
- ROSTOKER, B., GEBHARD, E.R. (1981): *Iron smelting at Isthmia*. Journal of the Historical Metallurgy Society, 15/1, pp. 41-44.
- TYLECOTE, R.F. (1987): *The early history of metallurgy in Europe*. Longman group UK Limited. Harlow.

