

EL CONJUNTO MINERO-METALÚRGICO DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE SENO (BAJO ARAGÓN): UN EJEMPLO DEL ORIGEN Y DIFUSIÓN DE LA SIDERURGIA PROTOHISTÓRICA EN EL LEVANTE ESPAÑOL

ANTONIO MARTÍN COSTEA*
VÍCTOR LÓPEZ SERRANO*
ARACELI GABALDÓN GARCÍA**

RESUMEN.— Se presenta una introducción sobre los hallazgos férreos en yacimientos bajoaragoneses de los Campos de Urnas del hierro y de inicios del período ibérico. Seguidamente, se estudia la mina a cielo abierto denominada Valdestrada, y lo mismo se hace con la preparación minera MDT-I, analizándose los minerales férricos de ambas. Igualmente, se estudia la mina subterránea MDT-II en la que se encontraron restos óseos de macromamíferos, cerámica ibérica, etc. Esta explotación fue aterrada para su sellado al final de las labores, durante el período ibérico. La localización de un horno de reducción inmediato a la mina MDT-II permitió analizar una escoria y el recubrimiento cerámico interno. La selección y estudio de las escorias férreas de dos poblados ibéricos cercanos, Vallipón y Monte Catma, y de un escorial aislado, han ayudado a comprender su formación en el horno, los minerales que intervinieron en el proceso, las temperaturas de trabajo, etc. Se presentan los resultados del estudio de un objeto férrico de un yacimiento de la Primera Edad del Hierro, y de un producto de fundición férrea hallado en el escorial de un poblado ibérico, ambos relativamente cercanos a las minas. Con la información obtenida se determinó el sistema de operación de los hornos de reducción durante la Segunda Edad del Hierro, comparando el horno adjunto a MDT-II con las instalaciones similares celtibéricas de la zona del Moncayo. Se discuten los resultados analíticos y se llega a las conclusiones que permiten conocer cómo se desarrollaban los procesos minero-metalúrgicos férreos en una zona cercana al levante español entre los siglos V al III a.e., correspondiendo con la difusión de la siderurgia en el área estudiada.

PALABRAS CLAVE: Siderurgia. Instalaciones mineras. Hornos de reducción. Cultura Ibérica levantina. Villa de Seno (Bajo Aragón –España–).

ABSTRACT.— A introduction on ferrous findings in the Bajo Aragón deposits of the Fields of Urnas, and beginnings of the Iberian Period is presented. Next, the mine called Valdestrada and the MDT-I mining preparation were studied at opened sky. Both iron ores were examined too. The MDT-II underground mine, where macromammals skeletal remains and Iberian ceramics were found, was also studied. This exploitation was pulled down for its sealing of at the end of the labours during the Iberian Period. The localization of a reduction furnace next to the MDT-II mine, permitted to analyse a slag and the internal ceramic coating. The selection and study of ferrous slags, and of an isolated dump-heap in

* Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas –CENIM- (CSIC). Avda. de Gregorio del Amo, 8. 28040-MADRID.
amcostea@cenim.csic.es / vlopez@cenim.csic.es

** Instituto del Patrimonio Histórico Español –IPHE- (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte). El Greco, 4. 28040-MADRID.
araceli.gabaldon@iphe.mcu.es

two Iberian settlements nearby Vallipón and Monte Catma, has helped to understand its formation in the furnace, ores that taking part in the process, working temperatures, etc. The results presented are the study of a ferric object of a First Iron Age deposit and an iron foundry product found in a dump-heap of an Iberian settlement. Both, relatively near the mines. With the obtained information the operating system of the reduction furnaces during the Second Iron Age, was determined comparing the furnace attached to MDT-II with similar Celtiberian facilities in the Moncayo zone. The analytical results were discussed. The conclusions permitted to know the development of a miner-metallurgical process, between the V and III B.C. centuries, in a zone near the East of Spain, corresponding with the diffusion of the siderurgy in the studied area.

KEY-WORDS: Siderurgy. Mining facilities. Reduction furnace. Iberian Levantine culture. Village of Seno (Bajo Aragón –Spain–).

1. Introducción

Autores antiguos como Filón de Bizancio y Diódoro, entre otros, elogiaron respectivamente las técnicas de producción férrea y la excelencia de los productos obtenidos por los celtíberos.

Para el actual Bajo Aragón, se cree que la técnica del hierro fue traída por los fenicios desde la cercana costa levantina, apareciendo los primeros elementos, muy esporádicos, en el siglo VII a.e., aunque esta metalurgia no se debió generalizar hasta el siglo siguiente y difundir ampliamente a partir del Ibérico Antiguo, período de influencias comerciales griegas en la zona.

Correspondiente a los siglos VII-VI a.e. aparece en el poblado Las Terraceras I, cerca de Mas de las Matas, un instrumento férrico que más adelante se describirá. También del siglo VII a.e. es la espada férrea de antenas de la inmediata población de Alcorisa, que probablemente sea un producto importado.

Del siglo VI a.e. se hallaron escasos objetos férreos en el poblado Sta. Bárbara II (Mas de las Matas), que no hemos podido estudiar, en la necrópolis de la Loma de los Brunos (Caspé) y en la necrópolis de Azaila, que perdura hasta el siglo III a.e., y ya del siglo V a.e. son los materiales férreos del Piuró del Barranc Fondo y de Les Hombríes, en Calaceite.

Según ya se apuntó, el inicio de la difusión de la metalurgia del hierro en el actual Bajo Aragón debió corresponder a la transición entre la Primera y la Segunda Edad del Hierro. Queda fuera de dudas que cuando llegaron los romanos la siderurgia ya estaba muy desarrollada y era

una actividad económica importante entre los iberos de la cuenca media del río Guadalupe, según tendremos ocasión de comprobar a lo largo del presente artículo.

2. La mina de Valdestrada

A principios del decenio de 1980 tuvimos conocimiento de la existencia de una mina de mineral de hierro en la partida territorial de Valdestrada (en el término de Seno, Teruel).

Tras la localización de dicha explotación a cielo abierto se procedió a la toma de datos y muestras mineralógicas, al igual que se hacía de las escorias que se hallaban en superficie en el poblado ibérico de Vallipón, situado unos 3 km al Este de la mina.

La explotación de Valdestrada se halla en la ladera Sur de un macizo calcáreo. Consiste en un corte en sentido E-O de una de las estribaciones de la masa rocosa y en el desmonte de roca de parte de dicha estribación, con lo que han quedado al descubierto varios filones longitudinales paralelos de mineral férrico, alcanzando el mayor de ellos una altura superior a 4 m. El frente de explotación ocupa una anchura superior a 30 m y una altura máxima de unos 9 m (Figura 1). El yacimiento mineral, al igual que los otros que más adelante se detallan (MDT-I y MDT-II) es una mineralización de goetita y en escasa proporción limonita originada por rellenos ferruginosos kársticos entre carbonatos cretácicos (Cenomanense).

La explotación de Valdestrada se comenzó explanando la superficie rocosa hasta quedar



visibles los filones. A partir de este momento se procedió al desmonte de la masa calcárea envolvente, dejando exentos los filones de mineral, tal y como ahora se hallan, proceso que se ha podido determinar a partir de la localización cercana de la preparación de explotación a cielo abierto denominada por nosotros MDT-I. En estas explotaciones se observan signos de extracción tanto a pico como con utilización de fuego.

Una composición tipo del mineral de esta mina se ofrece en la tabla 1.

La densidad del mineral de Valdestrada es variable, estando comprendida en las diferentes muestras estudiadas entre 4,70 y 3,15 g/cm³.

Vistas las probetas de mineral al microscopio óptico, se determinó que se trataba de goetita con estructura colomorfa, abundante ganga

Tabla 1. Análisis químico de minerales, % en masa
Table 1. Chemical analysis of minerals, % in mass.

	Valdestrada	MDT-I
Fe ^{total}	72,71	45,8
Mn	0,1	0,026
MgO	0,033	0,12
CO ₂	6,67	2,70
CaO	8,75	11,55
SiO ₂	1,52	1,56
P	0,027	0,20
S	0,022	< 0,005
Al ₂ O ₃	0,5	0,45

caliza y masas microcristalinas de limonita separadas por vetas de ganga, con masas de gran extensión constituidas por caliza ligeramente dolomítica (MARTÍN COSTEA y RUIZ ZAPATERO, 1980: 31-40).

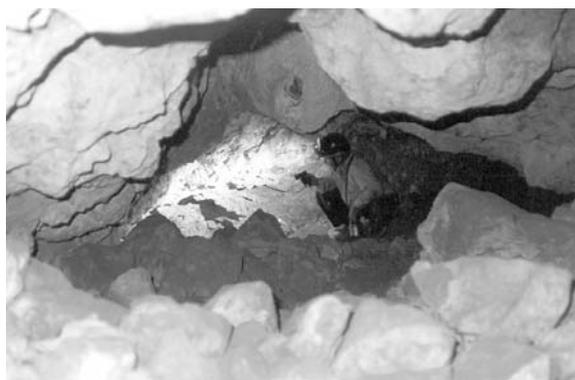
3. El conjunto minero férrico MDT-I, MDT-II y MDT-III

3.1. Las explotaciones mineras

En 1993, tuvimos noticia de que en la partida Masada del Torreta, cercana a Valdestrada, se hallaba otra mina de hierro, ésta subterránea, que localizamos en 1995 y denominamos MDT-II.

En la misma ladera y aproximadamente 100 m más arriba de la mina subterránea, en dirección Norte, se localizó una preparación de labor minera a cielo abierto (denominada por nosotros MDT-I) para una explotación similar a la de Valdestrada. Aquí se había cortado la masa calcárea explanando y nivelando la superficie y dejando ver la alineación oscura de un filón de goetita hoy limonitizada, de 10,10 m de longitud y 2,20 m de anchura máxima (Figura 2). Por motivos desconocidos nunca se llegó a profundizar en la explotación.





Se tomó una muestra de mineral que se consideró representativa del conjunto, eliminando toda la zona externa transformada por meteorización, para la realización de un análisis que arrojó el resultado que se ofrece en la tabla 1.

En el verano de 1995, en trabajos de topografía del interior de MDT-II, se comprobó que el acceso actual se realiza por dos aberturas en la roca y que el interior, abovedado, está casi colmatado de piedras y tierra que aparentemente habían penetrado por las dos aberturas mencionadas. Desde el abovedamiento parecían partir algunas galerías casi obstruidas.

Pronto se comprobó que la oquedad interior no era una zona de la que partían diversas galerías siguiendo los filones de mineral férrico, sino que se trataba de la parte superior de una gran cavidad abovedada subterránea excavada a pico. El diámetro aquí supera los 20 m (Figura 3).

Al mismo tiempo, nos percatamos de que el aterramiento de la explotación no fue fortuito debido a la entrada de piedras y tierra por hundimiento de una zona de la bóveda rocosa, sino que intencionadamente se tapió la entrada primitiva y se realizaron dos perforaciones en la bóveda por donde se introdujeron ingentes cantidades de tierra y piedras que un grupo de individuos en el interior esparcieron por toda la cavidad hasta colmatarla totalmente.

La zona a la que se puede acceder ahora es, por lo tanto, el hueco que ha quedado por el deslizamiento de tierra y piedras (favorecido por el

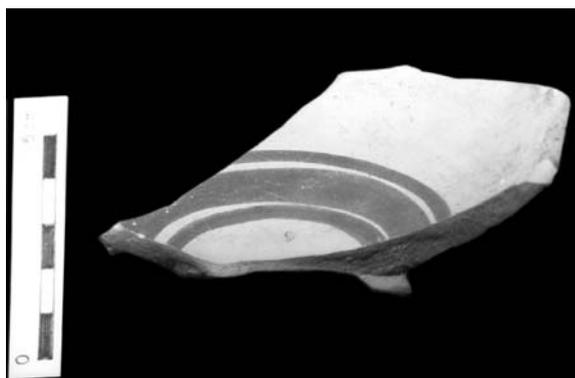
agua que penetra al interior) y por apelmazamiento del material de relleno durante más de dos milenios.

Desde la zona de entrada, introduciéndonos hacia el Este, tras un amontonamiento de piedras llegamos a una zona más amplia de la cavidad en la que se hallaron en superficie abundantes restos óseos dispersos, entre los que se determinó *Bos taurus*, *Ovis aries-Capra hircus*, *Sus scrofa*, *Lepus capensis*, etc. (Figura 4). Junto a estos huesos se encontró un fragmento de tronco de sabina o enebro quemado en un extremo, indicativo de que había servido como antorcha.

Desde aquí, totalmente al Este junto a la pared, se localizó un estrecho pozo producido por el hundimiento de los materiales de relleno, de aproximadamente 4 m de profundidad. En su parte más baja encontramos un fragmento de fondo anular y pared de un cuenco ibérico elaborado a torno con decoración de tres bandas pintadas al almagre al interior (Figura 5).

Se observó, hacia el S-E, una pequeña galería u oquedad taponada por un murete de piedras en seco. Al quitar un par de piedras vimos que en el escaso espacio interior únicamente se hallaban carbones vegetales.

Esta forma de disimular los huecos mayores con muretes de piedra en seco (probablemente para no tener que rellenarlos con material de aporte) parece ser que la habían seguido en otras zonas de la cavidad, según tuvimos oportunidad de deducir.



3.2. Un horno en las inmediaciones de MDT-II

En las inmediaciones de MDT-II, apenas unos 50 m hacia el Sur, observamos que un arroyamiento ha puesto al descubierto un horno excavado en el terreno (MDT-III) con unas medidas, en la zona conservada, de 2,10 m de diámetro y una altura actual de 1,40 m. Al interior se halla recubierto por una capa refractaria de arcilla de tono rojizo, muy endurecida por el fuego, con un espesor actual de 14 cm. En los alrededores del horno se encuentran fragmentos de mineral férreo, algunas escorias y bloques de piedra calcárea; no se localizan fragmentos cerámicos (MARTÍN COSTEA, 2001) (Figura 6).

Los resultados del análisis de una muestra del material refractario que recubre el interior del horno se ofrecen en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis químico del refractario y de la escoria del horno MDT-III, % en masa.
Table 2. Chemical analysis of refractory slag of the oven MDT-III, % in mass.

	Refractario	Escoria
Fe ^{total}	2,66	7,0
Mn	–	0,020
MgO	0,56	0,64
CaO	43,97	12,79
C	–	0,085
SiO ₂	15,1	55,40
P	–	0,063
S	–	< 0,005
Al ₂ O ₃	4,78	21,65

En las inmediaciones del horno se recogió una escoria cuyo análisis se recoge, también, en esta tabla.

Conviene observar las dimensiones de este horno, lejos de las publicadas recientemente para otro horno de reducción de la zona del Moncayo, de forma elíptica con unas medidas de 10 x 6 m, que nos hacen creerlo excesivamente grande para el mundo celtibérico (SANZ PÉREZ, RUIZ BUSTINZA, SANZ SÁNCHEZ, ENRÍQUEZ y CALONGE, 2001).

4. Los escoriales ibéricos

Tras la localización de la mina de Valdestrada, se encontraron diversos escoriales siderúrgicos en varios poblados ibéricos de la zona denominados Vallipón (Castellote), Monte Catma y Pico de La Ginebrosa (término de La Ginebrosa), Santa Flora y en dos puntos en la partida de Los Cabanes (Mas de las Matas).

Todo ello nos hizo suponer que en los poblados del Ibérico Pleno de nuestra comarca –y quizá en otros más lejanos– se desarrolló una importante transformación siderúrgica cuya materia prima se extrajo de las menas de Valdestrada y sus alrededores.

En principio, se procedió a la toma de muestras de escorias en el poblado ibérico de Vallipón (Castellote).

Se trata de un poblado amurallado cuyos niveles inferiores remiten a los Campos de Urnas del Hierro tardíos (siglo VI a.e.) al que se superpone el yacimiento ibérico propiamente dicho, cuyos materiales cerámicos marcan un final de habitamiento datable entre finales del siglo III y principios del II a.e., quedando desde entonces deshabitado (MARTÍN COSTEA y RUIZ ZAPATERO, 1980).

Las escorias recogidas se pueden agrupar en dos tipos claramente diferenciados: unas escasamente movilizadas, con abundantes poros –en algunos casos rellenos de arena, carbón vegetal o tierra– y tonalidades grises y anaranjadas en diversas zonas, apreciándose en algunos casos la granulometría de algunos componentes; y otras más movilizadas, de aspecto compacto y escasa y pequeña porosidad, color gris oscuro y densidad netamente más elevada que las descritas anteriormente, con aspecto muy fundido. Las primeras se hallaron en bloques de considerable tamaño y las segundas en trozos pequeños muy fragmentados.

Un análisis representativo de las escorias poco movilizadas (o de baja temperatura), asimilables a una escoria del tipo “P” (CUCINI

TIZZONI y TIZZONI, 1992) se muestra en la tabla 3. El otro tipo de escorias, con aspecto muy fundido (de elevada temperatura), asimilables al tipo “A”, arrojó los resultados que muestra la misma tabla.

Al microscopio óptico, las escorias poco movilizadas ofrecían visualmente granos muy abundantes de calcita que coexistían con masas de dolomita y limonita. En algunas zonas se veían transformaciones parciales de limonita a hematita. También se apreciaban granos de cuarzo y calcita adicionales, con un tamaño relativamente homogéneo, lo que indica una molienda. El tamaño de dichos granos era de 250 μm , aproximadamente. También parecía que el mineral férrico estuviera molido con un tamaño de grano inferior a 1 cm.

Las escorias de elevadas temperaturas estaban constituidas por granos redondeados y estructuras arborescentes de wustita entre la que se localizaban pequeñas masas de hierro metálico. En los bordes se veían algunas formas dendríticas de wustita.

Sobre algunas muestras de mineral y de las escorias poco movilizadas se realizaron análisis espectroscópicos, observándose la similitud de las gráficas en los picos de Ba, Ti y V (MARTÍN COSTEA y RUIZ ZAPATERO, 1980).

Monte Catma (MARTÍN COSTEA, MADROÑERO DE LA CAL, LÓPEZ SERRANO y GARCÍA CARCEDO, 1993) es un poblado de cronología similar a Vallipón, aunque de mayor amplitud. Fuera del recinto de murallas se localizan considerables escoriales, sin duda contemporáneos del yacimiento.

Tabla 3. Análisis químico de las escorias de varios yacimientos arqueológicos de la zona, % en masa.
Table 3. Chemical analysis of slags of several archeological deposits, % in mass.

	Vallipón		Monte Catma		Los Cabanes I
	Poco movilizada	Muy movilizada	Poco movilizada	Muy movilizada	Medianamente movilizada
Fe ^{total}	29,46	60,51	32	59,0	47,7
Mn	1,46	0,3	–	–	6,65
MgO	0,17	0,33	1,0	0,60	0,49
CaO	17,5	4,9	16,0	4,0	6,98
C	0,5	0,027	0,17	0,054	0,10
SiO ₂	40,4	8,2	2,7	1,9	13,14
P	0,27	0,27	–	–	0,080
S	0,029	0,068	0,033	0,063	0,044
Al ₂ O ₃	0,5	0,5	5,0	4,2	5,26

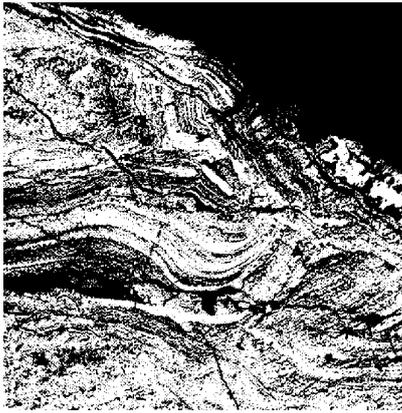


Figura 7. Estructura colomorfa de un borde del instrumento férreo del poblado Las Terraceras I. x 66.
Figure 7. Structure colomorfa o fan edge of the ferrous instrument of the settlement Las Terraceras I. x 66.

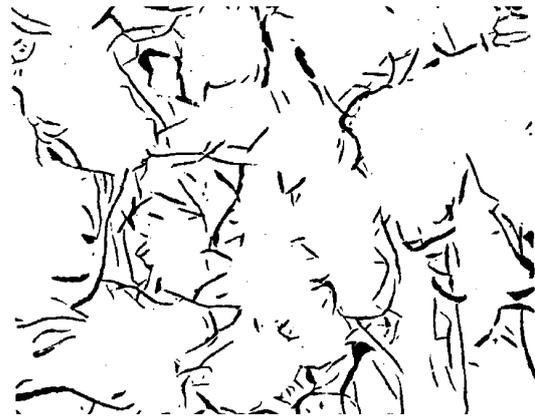


Figura 8. Microestructura del goterón férreo del poblado Monte Catma. x 100.
Figure 8. Microstructure of the ferrous big drop of the village Monte Catma. x 100.

Las escorias estudiadas de este yacimiento son en todo similares a las de Vallipón, según los análisis cuantitativos por vía húmeda y la observación con microscopio óptico. Sobre las de Monte Catma se realizaron diversos análisis (Tabla 3), los cuales se consideran representativos del conjunto.

En la partida de Los Cabanes, en las cercanías de Mas de las Matas, se localizan algunas concentraciones de escorias de escasa entidad, sin asociación a otros restos arqueológicos, aunque precisamente por la escasez parecen indicar su pertenencia a momentos antiguos, posiblemente del período ibérico en el que resultaría más fácil transportar el mineral a zonas en las que poder conseguir cantidades considerables de carbón vegetal que a la inversa, una vez agotadas las existencias arbóreas en las inmediaciones de las explotaciones mineras.

Del yacimiento Los Cabanes I se analizó una escoria medianamente movilizada, del tipo "L", que arrojó el resultado que se observa en la tabla 3.

5. Objetos férreos

Son muy escasas las muestras férreas conocidas de esta época en la zona estudiada, debido a que no se han llevado a cabo excavaciones arqueológicas en los yacimientos ibéricos.

Una de ellas es un instrumento indeterminado aparecido en el pequeño poblado Las Terraceras I (Mas de las Matas) (MARTÍN COSTEA y

RUIZ ZAPATERO, 1981; y RUIZ ZAPATERO y MARTÍN COSTEA, 1982), correspondiente a los Campos de Urnas del Hierro pero acusando aún influencias del Bronce Final (s. VII-VI a.e.). El aspecto externo del objeto manifestaba haber sufrido una severa degradación en el medio terroso. Los núcleos centrales de las probetas tomadas en dicho objeto eran unas masas isótropas uniformes de color gris verdoso claro que contenían cristales de cuarzo sin asimilar. Se apreció una estructura formada por yuxtaposición de agujas cristalinas alrededor de uno de los poros internos y la existencia de una estructura colomorfa muy acentuada que pudo haber sido provocada al obtener el objeto por un procedimiento de forja (Figura 7).

Un análisis por difracción de rayos X realizado sobre una muestra de esta pieza manifestó que estaba constituida por aproximadamente un 46,6% en forma de Fe_2O_3 y un 29,4% de Fe_3O_4 .

La otra muestra férrea procede del poblado ibérico Monte Catma. Se trata de un goterón de fundición metálico, informe, hallado entre las escorias extramuros del poblado. Las formas redondeadas y globulares parecen indicar que en su fusión se alcanzaron temperaturas muy elevadas. Preparada una probeta metalográfica de dicha muestra se observa una estructura metalúrgica de grafito laminar (Figura 8) en una matriz metálica de perlita con restos de cementita en zonas localizadas del producto.

También en Monte Catma se encontró un fragmento de cuchillo afalcatado, pero el hecho de aparecer en superficie no permite adscribirlo con seguridad al momento ibérico.

6. Discusión y conclusiones

El mineral de Valdestrada y de MDT es similar al de algunas explotaciones celtibéricas del Moncayo, con contenidos de hierro entre el 50 y el 70%, aproximadamente, y con contenidos parecidos también de los otros componentes (HERNÁNDEZ VERA y MURILLO RAMOS, 1985; y MATA PERELLÓ, 1989). Como ya se dijo anteriormente, son mineralizaciones ferruginosas relacionadas con un “*hard ground*” entre carbonatos cretácicos marinos.

Se trata, tanto en Valdestrada como en MDT-I –y consecuentemente en MDT-II–, de goetita y en escasa proporción limonita, con una ganga básica fundamentalmente calcítica. La extracción en estas minas se llevó a cabo con pico y con el uso de fuego, según los testimonios que han quedado. En los inicios de la metalurgia del hierro interesaba más la extracción de la goetita y limonita que otros minerales tales como la magnetita más difíciles de reducir.

La asociación del mineral de Valdestrada con el de las escorias escasamente movilizadas del poblado ibérico de Vallipón se ha determinado por similitud de los picos de Ba, Ti y V en análisis espectroscópicos realizado a tal fin.

La cronología de la mina MDT-II queda atestiguada por el fragmento de cuenco ibérico hallado en su interior procedente, sin duda, de los niveles más altos, cuenco que fue introducido intencionadamente en la cavidad ya que el asentamiento ibérico más cercano, el poblado de Vallipón, se localiza a unos 3 km al Este en línea recta.

Los restos óseos de diversas especies hallados en el interior de MDT-II (que probablemente deban asociarse a la cerámica ibérica) parecen corresponder al momento de sellado de la cavidad. Por el momento no es posible saber si se deben al alimento de quienes trabajaron en la colmatación o si tienen su origen en algún rito.

En un momento indeterminado del período ibérico (muy probablemente en los últimos años

del siglo III a.e., ya que todos estos poblados aparentemente fueron destruidos en el inicio de la Segunda Guerra Púnica) la cavidad fue totalmente rellena de tierra y piedras de los alrededores, abriéndose para ello dos bocas en la cúpula de roca y tapiándose la entrada primitiva. En el interior, un grupo de individuos tendieron los quizá centenares de toneladas de material aportado en un intento de sellar la cavidad y evitar el acceso futuro a la misma. Para la iluminación en estas tareas se utilizaron troncos y ramas de sabelina o enebro, cuyos restos se han localizado en varios puntos del interior. La parte accesible de la mina es hoy el hueco que ha quedado por apelmazamiento del material aportado durante más de dos milenios.

Este tipo de explotaciones mineras –que se manifiestan en muchos casos en superficie– aunque hoy se consideran no explotables por su escasa entidad eran suficientes en la Protohistoria para las limitadas necesidades de los pobladores de aquellos tiempos; de estas minas se debieron suministrar productos férreos no sólo a los poblados ibéricos cercanos sino a una amplia comarca.

Los hornos de reducción de hierro más antiguos de Europa, correspondientes a la Primera Edad del Hierro, eran una cubeta excavada en el suelo recubierta de material refractario, a la que se accedía durante la operación por su abertura superior. Era necesario que finalizase el proceso para extraer el hierro que se depositaba en el fondo debido a su mayor densidad con respecto a la escoria (KOLLING, 1973).

Durante la Segunda Edad del Hierro, los hornos evolucionaron y adquirieron mayor altura (FRANCE LANORD, 1963). La carga se hacía por su parte superior, aunque se dotaron de una abertura en la parte inferior por la que se podía sangrar la escoria de alta temperatura. Igualmente, se perfeccionó el procedimiento de insuflación de aire por medio de toberas cerámicas y fuelles, con lo que se aumentó en gran medida el tiro y, consecuentemente, se alcanzaron temperaturas más elevadas (en la cuba entre 1.100 y 1.300 °C) suficientes para reducir el mineral pero sin llegar a la fusión. A esta tipología corresponde el horno localizado en las inmediaciones de la mina subterránea MDT-II.

Según se desprende de las escorias poco movilizadas de Vallipón y Monte Catma, que presentan ocluidas partículas de carbón vegetal, fue éste el combustible que se empleó en el proceso siderúrgico. Este carbón se obtenía de las masas boscosas inmediatas de encina, enebro y sabina, que incluso hoy día existen en la cercana umbría de Valdestrada. El duro y compacto carbón vegetal resultante de estas masas arbóreas era ideal para este proceso de transformación.

Con respecto al horno MDT-III, se debe hacer notar que el escaso diámetro, el recubrimiento cerámico interno y la inexistencia de cerámica y arcillas en los alrededores indican que no se trata de un horno de cocer cerámicas. Por el contrario, la existencia en sus inmediaciones de mineral de hierro, algunas escorias y piedra caliza, aparte de la morfología de la instalación, llevan a concluir que se trata de un horno de reducción de mineral férrico, probablemente de los más antiguos de la zona, cuando aún existía masa forestal en las inmediaciones de la mina de la que poder obtener las necesarias cantidades de carbón vegetal. El hecho de que en las cercanías del horno se localicen sólo escorias aisladas se puede deber a que haya quedado aterrado con posterioridad el posible escorial o, más probablemente, a que las escorias resultantes se utilizaran en la colmatación de la inmediata mina subterránea MDT-II.

Si se considera el análisis químico del recubrimiento cerámico interno del horno, el bajo contenido de sílice, normal de alúmina y elevado de caliza parecen indicar que no se trata de un material sílico-refractario idóneo. Para determinarlo se realizaron sobre la muestra cinco ensayos de reblandecimiento y fusión en atmósfera reductora (CO), que proporcionaron unos valores medios de temperatura de reblandecimiento de 1.595 °C y de 1.629 °C para temperatura de fluidez.

De estos valores se deduce que dicho recubrimiento pudo responder adecuadamente a las temperaturas que se debieron alcanzar en este horno de reducción.

En los poblados ibéricos cercanos a las minas que nos ocupan se localizan los principales escoriales. A simple vista se observan, fundamentalmente, dos tipos de escorias: unas

escasamente movilizadas de coloración gris y anaranjada, de baja densidad, procedentes de zonas del horno de baja temperatura, y otras de coloración muy oscura y elevada densidad que tienen su origen en la zona del horno de temperaturas elevadas.

Al microscopio, las escorias de baja temperatura muestran que el mineral fue molido a un tamaño de grano de aproximadamente 1 cm, y que al horno se añadieron –como fundente y fluidificante de la escoria– caliza, también molida a un tamaño menor, de aproximadamente 250 µm, y sílice. En estas escorias se observa que el contenido de hierro es relativamente bajo (por la baja proporción de mineral férrico con respecto a los fundentes añadidos).

En el Moncayo se ha determinado también la utilización de fundentes ácidos –sílice y alúmina– destinados a la eliminación de la ganga caliza en forma de escoria que se separaba del metal por diferencia de densidad.

La escoria del horno MDT-III, a la vista de sus constituyentes en el diagrama ternario de la figura 9, corresponde a una zona de elevada temperatura.

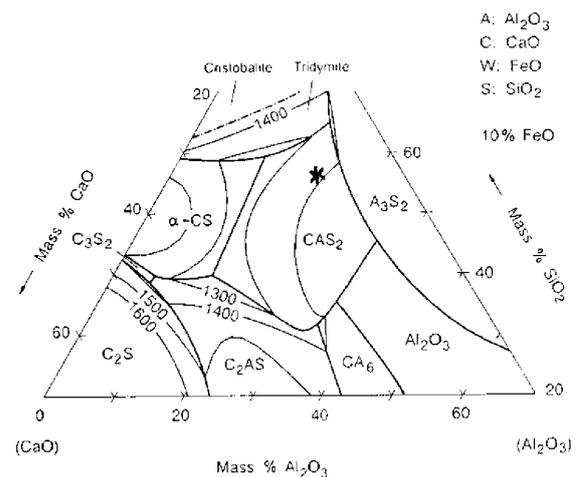


Figura 9. Diagrama ternario CaO-Al₂O₃-SiO₂, para un contenido de FeO del 10 %, del que se deduce que la temperatura de origen de la escoria de MDT-III rondó los 1.400 °C.

Figure 9. Ternary diagram CaO-Al₂O₃-SiO₂, for 10 % FeO content, of which is deduced that the temperature of MDT-III's salg range 1.400 °C.

Atendiendo a la morfología y a los contenidos de los compuestos, la escoria de Los Cabanes I corresponde a un tipo intermedio entre las poco movilizadas y las movilizadas.

Las escorias de elevada temperatura presentan el aspecto externo de muy fundidas y son de color muy oscuro con pequeños y escasos poros, lo que se deduce también de su composición: wustita globular y arborescente con granos ocluidos de hierro metálico. Presentan un elevado contenido de hierro y poca caliza y sílice. Su procedencia hay que situarla en la parte inferior de la cuba, en la zona de máximas temperaturas; estas escorias se sangraban por la abertura inferior del horno.

La abundancia de escorias en los poblados ibéricos y en algunos otros puntos, y la escasez o inexistencia (hasta el momento, en cuanto a localización) en la cercanía de las minas, tendrán su explicación en el pronto agotamiento de las masas vegetales cercanas a las explotaciones mineras para la obtención del preciso carbón vegetal.

En época romana, las escorias férreas suponían aproximadamente el 90 % del mineral utilizado, del que entre el 10 y el 20 % se lograba transformar en metal. Para el caso del mineral que nos ocupa, con contenidos medios de hierro del 60-70 %, se precisaban entre 100 y 200 kg de carbón vegetal por cada kilogramo de metal obtenido (CNRS, 1980).

Se conocen pocos objetos férreos de estas épocas en la zona geográfica que nos ocupa. El más antiguo es el instrumento indeterminado de Las Terraceras I, de un contexto arqueológico de Campos de Urnas del Hierro con influencias –apreciables en las cerámicas– del Bronce Final, y datable en el siglo VII-VI a.e. Corresponde, sin duda, a uno de los primeros intentos de obtención de instrumentos metálicos en el Bajo Aragón, pero el estudio analítico nos informa del uso de un procedimiento inadecuado. Este instrumento parece hallarse en el origen de una metalurgia del

hierro aportada por las influencias técnico-culturales de los Campos de Urnas finales (MARECHAL, 1963) según se desprende de algunos restos siderúrgicos y de diversos instrumentos férreos de otros yacimientos contemporáneos relativamente cercanos estudiados por nosotros (CERDEÑO SERRANO, 1981).

El goterón metálico obtenido por fusión, del poblado Monte Catma, corresponde básicamente a una fundición gris perlítica con un contenido de C_{equiv} del orden del 4 %, según se deduce de su estructura. Dicho goterón es un claro indicio de que en los hornos de la Segunda Edad del Hierro era posible la obtención del metal en fase líquida (con una temperatura de unos 1.550 °C), suposición a la que también llegan otros autores (SANZ PÉREZ, RUIZ BUSTINZA, SANZ SÁNCHEZ, ENRÍQUEZ y CALONGE, 2001). Estas fundiciones serían desechadas en la Protohistoria (recordemos que este goterón fue encontrado en los escoriales) ya que su elevada dureza y fragilidad las hacían indeseables. En los hornos se buscaba trabajar con una temperatura inferior (aproximadamente 1.100 °C) para obtener el metal semifundido con contenidos bajos de carbono.

En el horno, al final del proceso, se obtenía una torta de hierro dulce y escorias; estas últimas se eliminaban mediante martillado en caliente con lo que se conseguía, también, la unión de las masas metálicas. El hierro dulce se conformaba mecánicamente para obtener el objeto deseado que finalmente se carburaba y se sometía a los tratamientos de superficie precisos hasta obtener una estructura superficial que ofreciera las prestaciones requeridas. Esta tecnología se ha detectado en estudios realizados por nosotros sobre los materiales de algunos poblados contemporáneos a Vallipón y Monte Catma (MARTÍN COSTEA, MADROÑERO DE LA CAL y LÓPEZ SERRANO, 1991-1992; y MADROÑERO DE LA CAL, MARTÍN COSTEA, LÓPEZ SERRANO, GARCÍA CARCEDO y ARLEGUI SÁNCHEZ, 1992).

BIBLIOGRAFÍA

- MARTÍN COSTEA, A. y RUIZ ZAPATERO, G. (1980): "La metalurgia del hierro en el poblado protohistórico de Vallipón (Teruel)". *Rev. Metal., CENIM*, 16 (1), p. 31-40.
- MARTÍN COSTEA, A. (2001): Inventario de yacimientos arqueológicos de la cuenca media del río Guadalope (provincia de Teruel). Inédito. Ficha n.º 178.
- SANZ PÉREZ, E.; RUIZ BUSTINZA, I.; SANZ SÁNCHEZ, E.; ENRÍQUEZ, J. L. y CALONGE J. J. (2001): "La minería y metalurgia antigua del Moncayo: un horno de fundición de hierro en el Estrecho de Araviana, sierra de Toranzo (Ólvega, Soria)." *Celtiberia*, (95), p. 33-63.
- CUCINI TIZZONI, C. y TIZZONI, M. (1992): *Le antiche scorie del golfo di Follonica (Toscana): Una proposta di tipologia*. Ed. Et-Milano.
- MARTÍN COSTEA, A.; MADROÑERO DE LA CAL, A.; LÓPEZ SERRANO, V. y GARCÍA CARCEDO, F. (1993): "Arqueometalurgia del poblado ibérico Monte Catma (La Ginebrosa, Teruel)". *Mas. Matas.*, (13), p. 242-283.
- MARTÍN COSTEA, A. y RUIZ ZAPATERO, G. (1981): "Terraceras I: arqueometalurgia de un poblado del Bronce Final-Hierro Inicial en la Depresión de Mas de las Matas (Teruel)". *Rev. Metal. CENIM*, 17 (3), p. 187-196.
- RUIZ ZAPATERO, G. y MARTÍN COSTEA, A. (1982): "Las Terraceras I (Mas de las Matas, Teruel): un yacimiento de la Primera Edad del Hierro". *Kalathos*, (2), p. 7-32.
- HERNÁNDEZ VERA, J. A. y MURILLO RAMOS, J. J. (1985): "Aproximación al estudio de la siderurgia celtibérica del Moncayo". *Caesaraugusta*, (61-62), p. 177-190.
- MATA PERELLÓ, J. M^a. (1989): "Introducción al estudio de las mineralizaciones del Moncayo y de sus alrededores". *Turiaso*, (IX), p. 163-174.
- KOLLING, A. (1973): "Eine Frühe Eisenhmelze im Saarkohlenwal". *Bericht der Staatlichen Denkmalpflege im Saarland*, (20), p. 51-59.
- FRANCE LANORD, A. (1963): "Les lingots de fer protohistoriques". *Rev. d'Histoire de la Siderurgie*, (IV), p. 167-178.
- CNRS (1980): *Mines et fonderies antiques de la Gaule*. París.
- MARECHAL, J. (1963): *Reflections Upon Prehistoric Metallurgy*. Lammersdorf.
- CERDEÑO SERRANO, M^a. L. (1981): "La necrópolis de Molina de Aragón". Apéndice II: Análisis metalográficos, por A. MARTÍN COSTEA. *Wad-al-Hayara*, (8), p. 74 y 75.
- MARTÍN COSTEA, A.; MADROÑERO DE LA CAL, A. y LÓPEZ SERRANO, V. (1991-1992): "Arqueometalurgia del poblado ibérico Los Castellares, de Herrera de los Navarros (Zaragoza)". *Kalathos*, (11-12), p. 233-266.
- MADROÑERO DE LA CAL, A.; MARTÍN COSTEA, A.; LÓPEZ SERRANO, V.; GARCÍA CARCEDO, F. y ARLEGUI SÁNCHEZ, M. (1992): "Estudio arqueometalúrgico de útiles y restos minerometalúrgicos del yacimiento celtibérico de Castilmontán (Somaén, Soria)." *Bol. Museo de Zaragoza*, (11), p. 47-88.