

BERCEO	126	71-88	Logroño	1994
--------	-----	-------	---------	------

ESTUDIO DE LOS RESTOS METALÚRGICOS DEL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE SANTA ANA (ENTRENA, LA RIOJA)*

A. Madroñero de la Cal**

RESUMEN

El yacimiento del cerro de Santa Ana corresponde a un poblado de la Primera Edad del Hierro que pervive hasta alcanzar la época romana. Aparecieron en él unos restos de posibles productos siderúrgicos de nulo valor museable, por lo que pudo procederse a su estudio intensivo en laboratorio para establecer si pertenecían a una tecnología del hierro primitivo o si, por el contrario, deberían asociarse a la siderurgia romana. Los restos eran un trozo de mineral de hierro, un trozo de escoria siderúrgica, un pedazo de hierro de aspecto rojizo y una pieza ferrosa alargada, encontrada en una tumba, asimilable en principio a una espada de guerrero en avanzado grado de destrucción. Los resultados de los análisis apuntan claramente a una pervivencia de la siderurgia celtibérica. La escoria es siderúrgica, pero obtenida a partir de almagre, no de mineral de mina, y su destino no era producir hierro metálico, sino pasta ferrosa vítrea que se utilizaba como tal en el mundo prerromano. Del mismo tipo resultó ser la supuesta espada, que no era sino un lingote de material fayalítico. El pedazo de hierro rojizo reviste un enorme interés, ya que es el primer agrafado detectado en el mundo celtibérico. En él se reúnen una chapa fina de hierro muy puro y maleable, asimilable a una tecnología romana o indoeuropea, con un recubrimiento rojizo de las antiguas pastas ferrosas, que constituyen un tratamiento anticorrosión muy eficaz.

Palabras clave: restos siderúrgicos, escorias ferrosas, agrafado.

The Santa Ana settlement is on a recently dismantled low hill and it corresponds to a village active since the First Iron Age until Roman times. There were found some relics of possible iron goods having null worth to be exposed at any museum, for that which could proceed to their intensive study in laboratory in order to establish if their production process was included in the primitive iron technology or if, by opposite, they must be associate to Roman iron crafts. The relics were a piece of mined iron ore, a fragment of iron slag, an small iron piece of reddish appearance, and a piece with rust appearance and a lengthened shape. As it was found in a tomb, it was initially identified as a sword of a warrior in advanced grade of deterioration. The analysis results clearly suggest a survival of the indigenous iron steel industry. The slag is ferrous, but it was obtained starting from red earth, not from mined ore, and their destination was not to produce metallic iron, but glassy ferrous paste, which was utilized as final parts former in the celtiberian world. Also it was established that the hypothetical sword was really an ingot of fayalite based material. The reddish iron piece contains a great interest, since it is the first seamed clinch identified in the celtiberian world. In such clinch are mixed together two differentiated technologies. There are a very pure and malleable thin iron sheet, tuned to a Ro-

* Recibido el 15 de julio de 1993. Aprobado el 8 de febrero de 1994.

** Investigador Científico. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CSIC).

man or late indoeuropean iron technology, with an ancient celiberian reddish coating made of old ferrous pastes, that constitutes corrosion protective treatment, very efficient.

Key words: iron relics, ferrous slags, seamed clinch.

0. INTRODUCCIÓN

A petición del Sr. Director de las excavaciones del yacimiento de Santa Ana, Dr. D. Antonino González Blanco, nos hemos ocupado del estudio de los restos metálicos que han aparecido en las diversas campañas de excavaciones del citado yacimiento¹.

Se trata, fundamentalmente, de establecer el estadio metalúrgico del yacimiento, teniendo en cuenta los escasos restos de material metálico aparecidos hasta el presente que puedan ser estudiados sin daño de los materiales museables².

Tenemos, por una parte, tres muestras sin valor para su eventual exposición en un museo, y luego una aparente espada aparecida en una tumba. Las tres primeras muestras aludidas son:

Muestra I: Una banda de hierro rojizo de unos 6 cm de largo, aparecida durante la campaña de 1984.

Muestra II: Un pedacito de escoria, posiblemente metalúrgica, puesto que la atrae un imán, recogido en la misma campaña.

Muestra III: Posible mena metálica no magnética encontrada en la misma campaña.

El entorno del yacimiento de Santa Ana es, por lo que hasta el momento se lleva visto, y teniendo en cuenta que la excavación sólo ha sido hasta ahora de salvamento y por urgencias de los trabajos que la destrucción del cerro ha ido ocasionando, un asentamiento que parte de la Primera Edad del Hierro perviviendo hasta última época romana. En el cerro

1. El yacimiento de Santa Ana era conocido desde antiguo por su abundante cerámica en superficie. La primera presentación «científica» que sepamos fue realizada por U. Espinosa Ruiz y A. González Blanco, "Noticia de un yacimiento prerromano y romano situado en el cerro y zona de Santa Ana (Entrena, Logroño)", *XIV CAN (Vitoria, 1975)*, Zaragoza, 1977, pp. 1021-1038, XI lám.; completada con el trabajo de los mismos autores "La necrópolis del poblado celta-romano de Santa Ana (Entrena, Logroño)", *AEspArg*, nº 49, 1976, pp. 164-170; sobre el tema se volvió en el trabajo de los mismos autores "En torno a los orígenes de Medrano", *Berceo*, XCII, 1977, pp. 111-125; los mismos autores estudiaron la datación del yacimiento en "El cerro de Santa Ana y su datación por el carbono-14", *C-14 y Prehistoria de la Península Ibérica. Reunión de 1978*, Fundación Juan March, Serie Universitaria 77, Madrid, 1978, pp. 111-112; en 1976 al iniciar la Hermandad de Labradores de Entrena la excavación de la cumbre del primer foso que A. González Blanco y U. Espinosa Ruiz consiguieron excavar por vía de urgencia a la vez que la pala mecánica iba destruyendo el cerro, de ese foso salió una gran cantidad de huesos, cenizas y cerámica; F.J. de Miguel Agreda y A. Morales publicaron el estudio de los huesos hallados en los fosos excavados en el cerro de Santa Ana en la revista *Zubía*, I, Logroño, 1983, pp. 49-167, y en otro trabajo titulado "Los restos animales del Cerro de Santa Ana (Una aproximación a la fauna de La Rioja durante la Edad del Hierro)", *II Coloquio de Historia de La Rioja*, Logroño, 1985, vol. I, pp. 103-112; P. Vallalta Martínez estudió uno de los objetos aparecidos en la excavación de 1984: "Una balanza de precisión procedente del yacimiento de Santa Ana", *II Coloquio de Historia de La Rioja*, Logroño, 1985, vol. I, pp. 95-102. El sentido de los fosos fue estudiado por A. González Blanco, A. Morales Muñoz y F.J. de Miguel Agreda, en el trabajo "Los fosos del yacimiento de Santa Ana (Entrena, La Rioja) ¿Un quemadero de ofrendas?", *XVII CAN (Logroño 1983)*, Zaragoza, 1985, pp. 435-449. Existe un trabajo de A. Morales sobre los resultados del estudio polínico del yacimiento aún sin publicar. Y hemos de lamentar que las obras de ampliación de la carretera Nalda-Fuenmayor realizadas hace pocos años se hicieran sin la necesaria excavación (obligatoria por ley y pedida por mí con tiempo suficiente para haber podido llevar a cabo sin trastorno de las obras), ya que hubiera dado mucha información: en el perfil que dejaron en el cerro los trabajos de ampliación de la calzada son perfectamente divisibles restos de cisterna, restos de pavimentos y hemos podido recoger restos de mosaico romano de entidad suficiente como para poder captar su decoración (Nota de A. González Blanco).

2. VALLALTA MARTÍNEZ, P., *Op. cit.*

de Santa Ana aparecen restos cerámicos en abundancia, e incluso escorias indudablemente cerámicas. De metal sólo han aparecido hasta ahora los materiales aludidos.

Las preguntas a las que nos gustaría poder contestar, después del examen de estas muestras son:

1. La tecnología de fabricación del hierro ¿es antigua? o por el contrario ¿puede asignarse a la civilización romana? ¿Se trata de una metalurgia indígena, celtíbera, o por el contrario, es romana?

2. Las escorias y el hierro ¿se corresponden unas con el otro? Es decir, ¿la escoria procede del mineral? En este caso habría que suponer que estamos ante el típico asentamiento prerromano con una pequeña estación siderúrgica en las proximidades del poblado.

3. En caso de que el hierro no proceda del mineral de la escoria ¿es importado de otra zona? Pasemos, pues, a estudiar la composición química y la estructura de las tres muestras.

1. ESTUDIO DE LA MUESTRA DE MINERAL (MUESTRA III)

El análisis espectrométrico de emisión de la muestra III dio por resultado:

Hierro	base
Calcio	0,2 (ganga silícea)
Silicio	0,5 (en cuarzo)
Cobre	0,2
Magnesio	0,1
Manganeso	nada

El análisis fue realizado con registro fotográfico, por lo que los resultados cuantitativos deben ser tomados solamente como orientativos.

El análisis por difracción de rayos X, realizado en cámara Debye-Scherrer con radiación $K\alpha$ del Cu, dio como resultado orientativo:

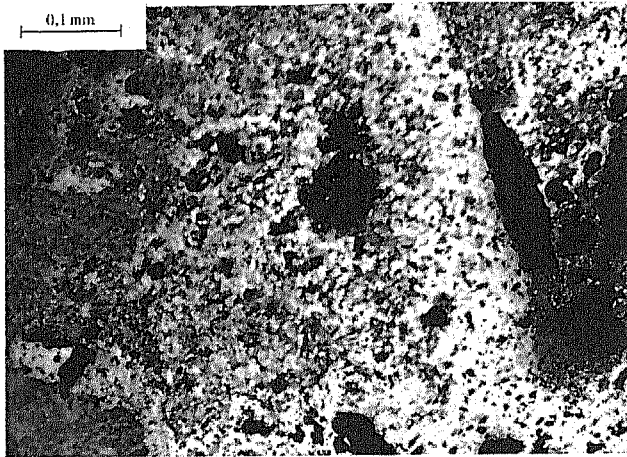
Fórmula química	Ficha ASTM	Nombre	Contenido (%)
α SiO ₂	5-0497	Cuarzo α	30
α Fe ₂ O ₃	13-534	Hematites α	60
Fe ₂ MnO ₄	10-319	Jacobsita	10

Estamos, pues, ante una hematites de gran calidad (alto contenido de hierro) sin trazas de manganeso (no fue detectado por espectrometría de emisión). El examen de la muestra al microscopio deberá mostrar una estructura con dos fases (cuarzo y hematites). Como nota de valor histórico cabe decir que estas menas fueron beneficiadas en La Rioja según nuestra noticias³ en época celtibérica muy tardía, en conjunción con arenas ferruginosas.

En la figura 1 se muestra la microestructura tal y como se observa en un microscopio óptico a reflexión. Aparecen las dos fases, clara el cuarzo y coloreada la hematites, que se podían identificar además al comprobar que girando los nícoles, su color viraba hacia el rojo. Es importante dejar constancia de que ambas fases se presentan en forma de cristales uedrales, como corresponde a un mineral de roca (se apreciaría mejor en la figura 1 si estuviésemos a más aumentos), sin rastro de cristales colomorfos típicos de la goetita existente en las arenas ferruginosas.

3. MADROÑERO DE LA CAL, A., "Interpretación inicial de los restos de una estación siderúrgica aparecidos en el entorno del santuario de Nuestra Señora de Valvanera (Rioja)", *Técnica Metalúrgica*, marzo-abril 1985.

Figura 1: Microestructura de la muestra III



2. ESTUDIO DE LA MUESTRA DE ESCORIA

El análisis espectrográfico de la emisión con registro en placa fotográfica dio como resultado aproximado:

Hierro	base
Calcio	4
Silicio	3
Cobre	1
Magnesio	0,5
Manganeso	0,5

Si comparamos estos resultados con el análisis espectrométrico del mineral anteriormente reseñado, tenemos:

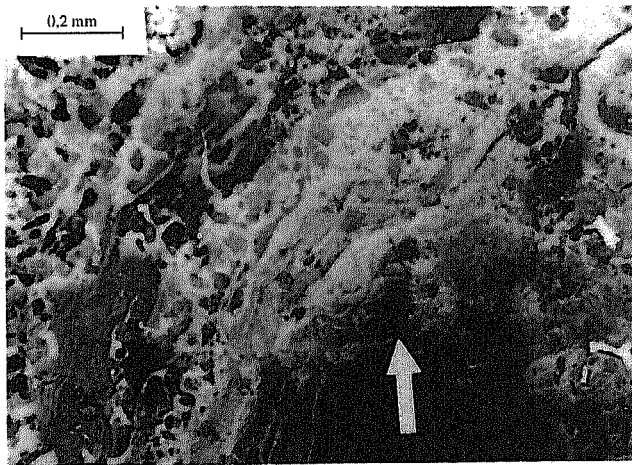
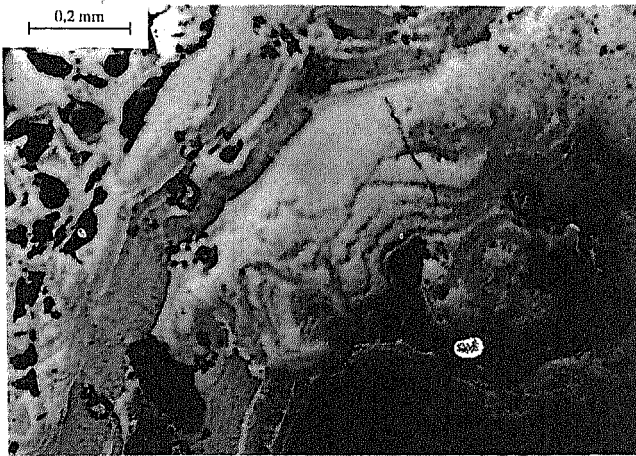
1. Hay una subida del Ca, Si y Mg, perfectamente lógica por el proceso de escorificación.
2. Hay un incremento de Cu y Mn que apunta hacia la utilización del almagre o tierras de arrastre junto con el mineral analizado en el apartado anterior.

El análisis por difracción de rayos X de la escoria dio como resultado:

Fórmula química	Ficha ASTM	Nombre	Contenido (%)
Fe_3O_4	11-614	Magnetita	60
FeO	6-0615	Wustita	25
αFe_2O_3	13-534	Hematites α	15

No aparecen los restos de cuarzo que había en el mineral, ni fayalita, tan común en las escorias fluidas. Es una escoria *aparentemente primitiva*, pues para que el horno dé buen rendimiento su escoria ha de contener fayalita en abundancia. Una escoria así, o es de una siderurgia muy primitiva o va destinada a ser utilizada como material para utilización como pasta vítrea, para fabricar clavos, por ejemplo, como tan corriente era en el mundo ibérico.

Figura 2: Magnetita colomorfa observable en la escoria (Muestra II)



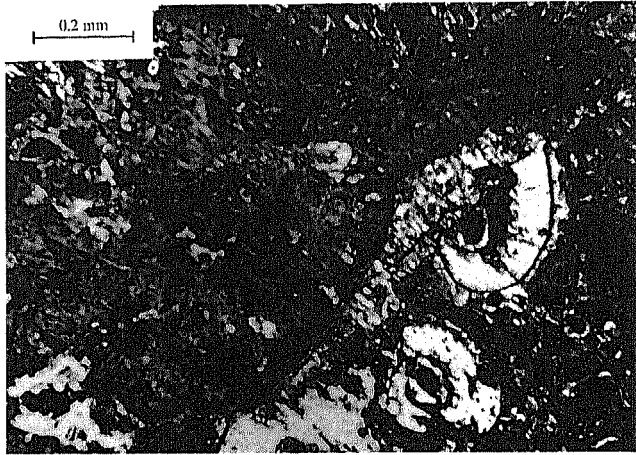
Veamos su microestructura. Aparece una fase magnética dominante, que presenta, en bastantes puntos aislados, unas estructuras marcadamente colomorfas, tal y como se muestran en la figura 2. Es decir, hay zonas de magnetita que no proceden de la reducción de hematitas como la muestra III (Fig. 1), sino de adiciones de arenas de almagre, tal y como apuntábamos al comentar la variación de composición entre las muestras III y II.

A fin de asegurarnos de que las estructuras colomorfas corresponden a la magnetita, efectuamos un ataque o tinción con una solución saturada de cloruro estannoso. Dicha solución deja intacta a la magnetita, pero oscurece a la wustita. En la figura 3 queda claro que las estructuras colomorfas son de magnetita. En la figura 3b puede verse que la escoria carece tanto en sus áreas de magnetita como en las de mayoría wustítica, de bandas de forja.

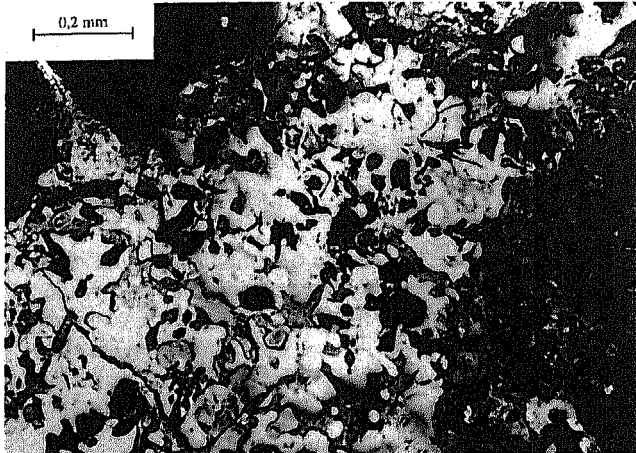
Es decir, estamos ante una escoria, cuya utilización es para trabajarla como pasta vítrea, pero que está tal cual es producida en el horno, antes de ser conformada por forja.

Una escoria así ha de tener, además, algunos escasos glóbulos de hierro metálico. En efecto, en la figura 4 puede verse uno de estos glóbulos, también exento de estructura de forja.

Figura 3: Efecto del ataque con una solución de cloruro estannoso a la microestructura de la muestra II

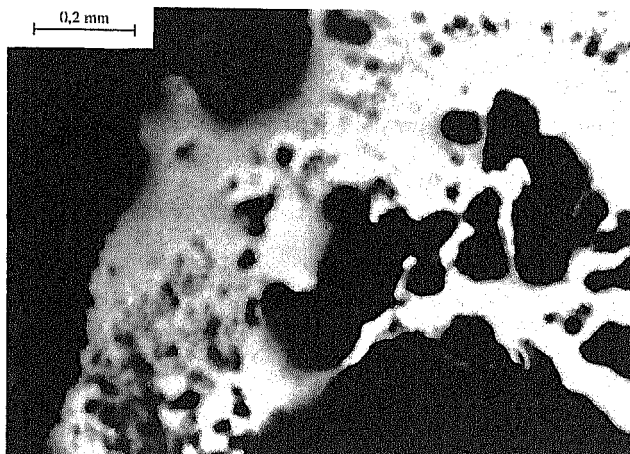


a) Las estructuras colomorfas no resultan atacadas por el cloruro estannoso



b) La zona de la derecha está atacada por el cloruro estannoso (mayoría wustítica). La zona central no. Obsérvese la ausencia total de bandas de forja

Figura 4: Glóbulo de hierro metálico disperso en la muestra II. El hierro libre (color claro) aparece bordeado de wustita (oscura)



3. ESTUDIO DE LA PIEZA DE HIERRO

La muestra I presenta desde el comienzo una aparente serie de contradicciones. Su color es rojizo, violáceo, como el de los arcanos hierros ibéricos de almagre, duros y quebradizos. Sin embargo la muestra I no es, en absoluto, quebradiza, pues resiste golpes sin romperse, como si fuese un hierro de La Tène.

Lo primero que procede efectuar es un corte transversal para su examen al microscopio. Habiéndolo realizado, nos encontramos con que la muestra I es un *agrafado*, tal como se muestra en la figura 5. Para quien no esté familiarizado con la terminología de la metalotecnia, un *agrafado* es una forma de unir dos chapas tal y como se hace, por ejemplo, en la generatriz de un bote cilíndrico de hojalata, como los que utilizamos en España para conservas vegetales (alcachofas, etc.). Consiste (Fig. 5) en doblar los dos bordes de las chapas a unir, engarfiarlos, y aplastar el conjunto en forma que se haga buen cierre.

Lo curioso del *agrafado* de la muestra I (que requiere un hierro maleable, limpio de escoria como constituyente de ambas chapas para que posea la ductilidad que el *agrafado* exige) es que está recubierto de un material rojizo, duro, que le daba el aspecto de hierro ibérico primitivo. Pasando a más aumentos, aunque se pierde la perspectiva del conjunto del *agrafado* tal y como mostamos en la figura 5, se advierten los detalles de la tecnología, que tanto nos interesan.

Lo primero que mostramos en la figura 5.1 es este recubrimiento con hierro rojizo. Está constituido por magnetita muy bandeada (Fig. 5.1.a) que no se oscurece con el cloruro estannoso (Fig. 5.1.a)

Hay tres posibilidades para efectuar este proceso:

1. Recubrir previamente las chapas y luego proceder a cortarlas para efectuar el *agrafado*.

2. Proceder a efectuar el agrafado y, después, dar el recubrimiento.

3. Cortar las chapas y prepararlas doblándolas para efectuar el agrafado. Después se las recubre y, finalmente, se hace el agrafado, terminándolo con tratamiento en horno.

El resto de las observaciones nos van a confirmar la tercera de estas hipótesis.

En efecto, en la figura 5.2 el borde de la chapa está cubierto con magnetita con bandas de forja. En la figura 5.3 aparece, en el centro, en la zona resguardada de las deformaciones de la forja, una zona no de magnetita bandeada como la de la figura 5.1, sino como la escoria de la figura 3.b tratada térmicamente en la última etapa del proceso de fabricación. En la figura 5.4 encontramos nuevamente una comprobación de la hipótesis 3, pues en caso contrario no habría material alguno entre las dos chapas de hierro metálico.

Figura 5: Estructura de la muestra I, mostrando la constitución del agrafado y la zona de donde se tomaron las micrografías

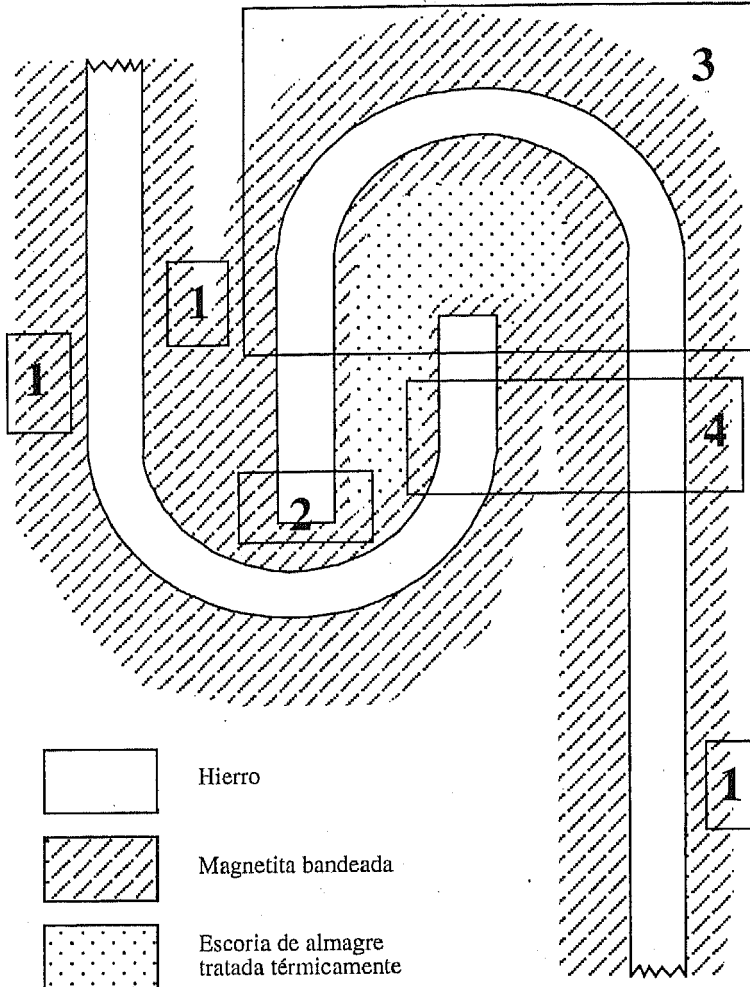
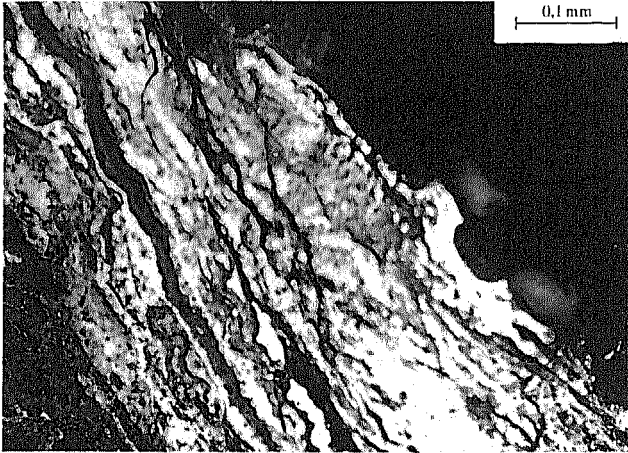
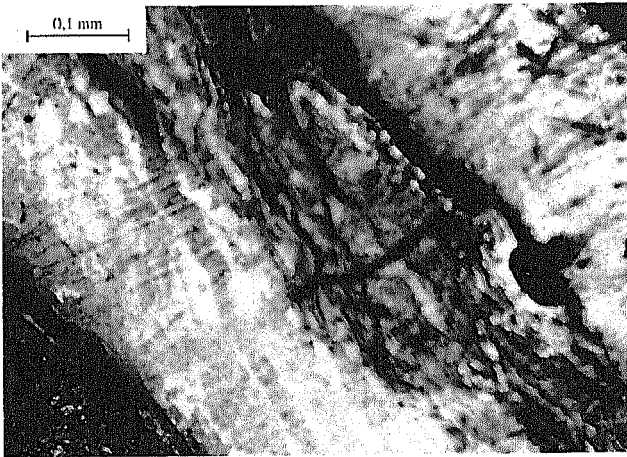


Figura 5.1: Recubrimiento de magnetita bandeada de las chapas que forman el agrafado (zonas I de la Fig. 5)



a) Sin atacar con cloruro estannoso



b) Atacada con cloruro estannoso

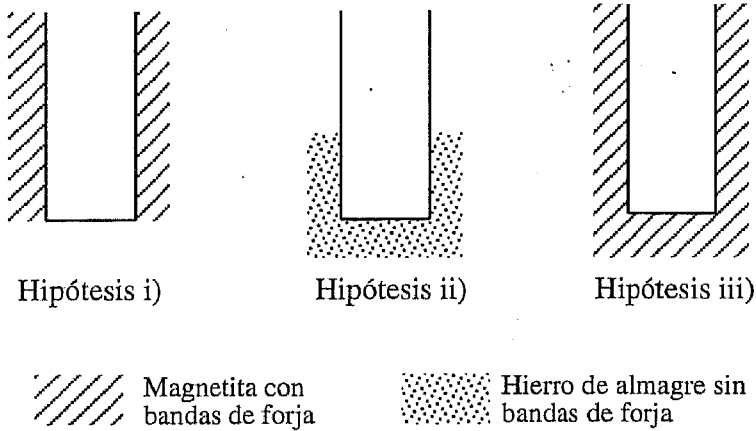
La conclusión parece clara. La muestra I pertenece a una vasija o similar que justifique el proceso del agrafado. Hay dos siderurgias, a saber:

a) Una muy perfecta, indoeuropea, capaz de producir una chapa de hierro dulce y forjada con una maestría y un utillaje como sólo disponen los celtas que combaten con Julio César. Sus chapas son metalúrgicamente perfectas, pero rápidamente arruinables por la corrosión.

b) Una siderurgia arcaica que pervive. Produce hierro a partir del almagre, obteniendo un producto de hierro-magnetita cobrizo, poco dúctil, pero muy resistente a la corrosión. Su utilización como recubrimiento encaja en el contexto celtibérico⁴ y no debe ser confundido con la técnica romana de recubrir el hierro con cobre mediante su inmersión en una solución de Sal de Glauberio (sulfato de cobre), o, si lo preferimos con otro nombre, el vitriolo azul de Agrícola.

La arcaica escoria que constituía nuestra muestra II tiene, por tanto, una perfecta explicación. Quizá los futuros trabajos en la excavación de Santa Ana aporten datos que completen este cuadro.

Figura 5.2: Zona 2 de la figura 5



4. MADROÑERO DE LA CAL, A., "Identificación de los restos de soliferrums mediante su estudio arqueometalúrgico", *Kalathos III*, 1983.

*Figura 5.3: Zona más interna del agrafado
(Zona 3 de la figura 5)*

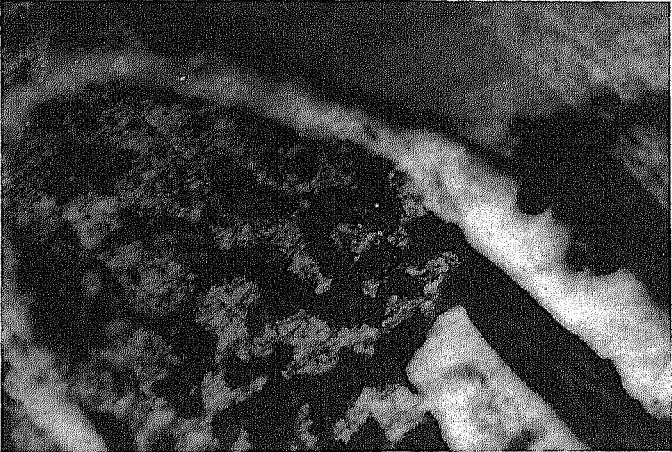


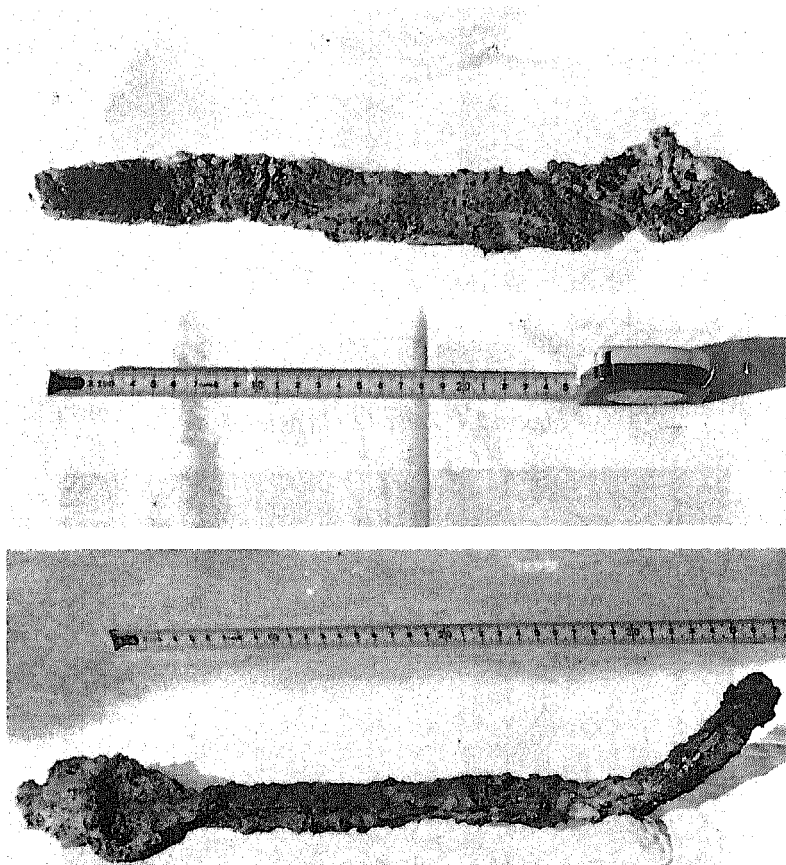
Figura 5.4: Zona 4 de la figura 5



4. ESTUDIO DE UNA PROBABLE ESPADA APARECIDA EN LA MISMA CAMPAÑA DE 1984

Durante la campaña del mismo verano de 1984, en los bordes que forman la cresta de la meseta superior del cerro sobre las más suaves pendientes ya cultivadas que se extienden desde media altura hasta el camino y carretera y en un contexto indeterminado⁵, apareció la pieza que es objeto del presente estudio.

Figura 6: Fotografía de la pieza objeto de este estudio



5. En la excavación del cerro de Santa Ana, del año 1984, en la cara Este del mismo y en las cercanías del extremo SE del óvalo que forma la parte alta del cerro, al intentar comprobar la estratigrafía de uno de los salientes que en aquel punto presenta el cerro, se profundizó hasta unos ochenta cm bajo el nivel de la tierra de cultivo y apareció un objeto de hierro cuya forma parecía conservarse pero del que no pocos fragmentos eran prácticamente incompromisibles. La pieza fue llevada al Instituto de Restauración en Madrid y uno de los fragmentos que creíamos de menor entidad artística lo pasamos al Sr. Madroñero para que estudiase la técnica de elaboración del hierro en el yacimiento. Se trataba de una banda de hierro rojizo de unos 6 cm de largo (Nota de A. González Blanco).

Mostraba un aspecto de herrumbre, lo cual no es de extrañar en un objeto de hierro enterrado durante tan dilatado espacio de tiempo. Debido a su alto grado de deterioro no merecía la pena proceder a su restauración, por lo que en el Instituto de Restauración de Madrid se contentaron con limpiarla y consolidarla dejando la pieza en el estado en que actualmente se encuentra.

Su morfología sugiere claramente que se trata de una espada en estado intermedio de fabricación. No obstante, se observan dos detalles llamativos:

1. El grado de oxidación es tan completo que no se aprecian a simple vista restos de hierro metálico. En ese caso uno se pregunta cómo la pieza mantiene aún su integridad. Una pieza *totalmente* convertida en orín se desmorona por completo, pues los óxidos de hierro hidratados que constituyen la herrumbre son pulverulentos, por carecer de cohesión.

2. Observando detenidamente algunos pedacitos desprendidos de la pieza, que nos fueron suministrados, como sobrantes, por el Instituto Nacional de Restauración una vez concluido su trabajo, se observa en ellos al examinar su fractura, una naturaleza de tipo mineral-vítreo, en total disconformidad con la pulverulenta frágil que cabe esperar en una herrumbre.

En consecuencia, merecía la pena realizar un estudio arqueometalúrgico de la pieza para intentar esclarecer estos dos interrogantes. Naturalmente, para ello podíamos utilizar como probetas para análisis estos dos pedacitos de material sobrantes, que pueden ser destruidos sin desdoro de la pieza.

Los otros aspectos extraños a una espada, es decir, la sección redondeada de casi toda la pieza, y la forma bulbar de uno de sus extremos, pueden ser explicados como consecuencia de un proceso de hechurización o fabricación inacabada de la pieza.

5. MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA PIEZA

Tomamos una muestra que, por su color y aspecto, correspondía al núcleo de la pieza. Medimos su densidad por simple pesada en aire y sumergida en agua, obteniéndose para la densidad un valor de $\rho = 3,34 \text{ gr/cm}^3$, muy distinto de la $\rho = 7,1 \text{ gr/cm}^3$ que corresponde al hierro metálico.

Las densidades de las especies químicas que pueden encontrarse en una pieza metálica son (hierro, restos de escoria, restos de mineral):

Especie química	Densidad en gr/cm^3
Hierro metálico	7,1
Magnetita Fe_3O_4	5,12 ~ 5,18
Hematites Fe_2O_3	5,2 ~ 5,3
Cuarzo SiO_2	2,55 ~ 5,3
Óxidos de hierro hidratados	4,5 ~ 5,2
Anortita	2,8 ~ 3,1
Fayalita	3,27 ~ 3,37

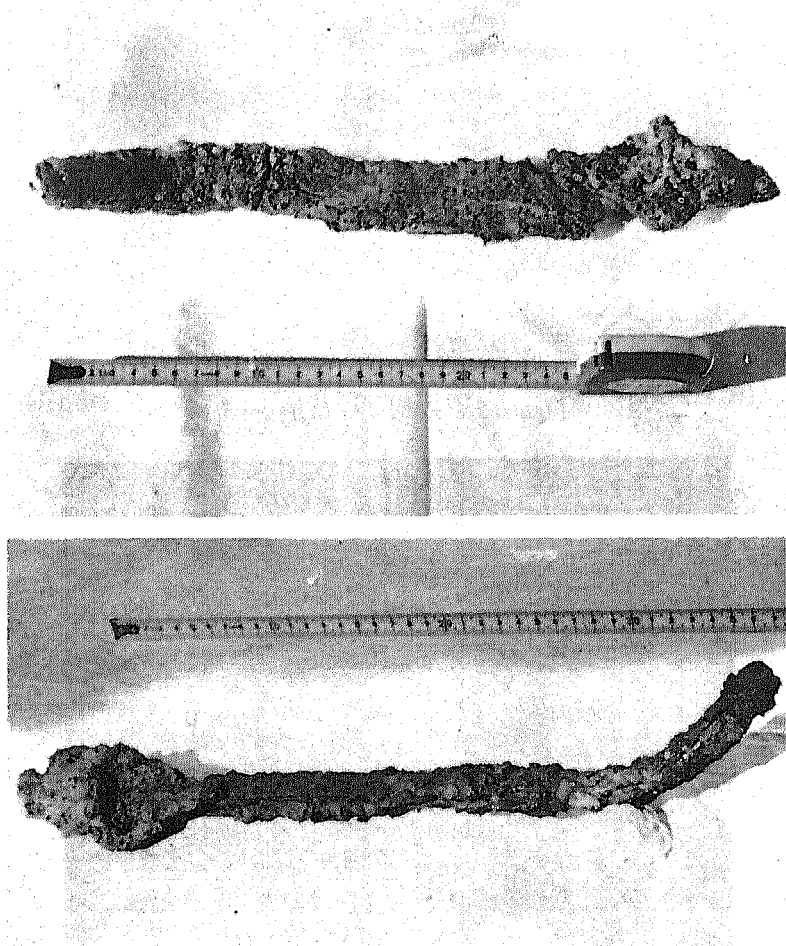
La densidad $\rho = 3,34 \text{ gr/cm}^3$ de nuestra pieza apunta claramente a una composición marcadamente fayalítica de la «espada». El resultado es altamente significativo, pues nos saca a nuestra pieza de la secuencia del beneficio del hierro



4. ESTUDIO DE UNA PROBABLE ESPADA APARECIDA EN LA MISMA CAMPAÑA DE 1984

Durante la campaña del mismo verano de 1984, en los bordes que forman la cresta de la meseta superior del cerro sobre las más suaves pendientes ya cultivadas que se extienden desde media altura hasta el camino y carretera y en un contexto indeterminado⁵, apareció la pieza que es objeto del presente estudio.

Figura 6: Fotografía de la pieza objeto de este estudio



5. En la excavación del cerro de Santa Ana, del año 1984, en la cara Este del mismo y en las cercanías del extremo SE del óvalo que forma la parte alta del cerro, al intentar comprobar la estratigrafía de uno de los salientes que en aquel punto presenta el cerro, se profundizó hasta unos ochenta cm bajo el nivel de la tierra de cultivo y apareció un objeto de hierro cuya forma parecía conservarse pero del que no pocos fragmentos eran prácticamente incomponibles. La pieza fue llevada al Instituto de Restauración en Madrid y uno de los fragmentos que creíamos de menor entidad artística lo pasamos al Sr. Madroñero para que estudiase la técnica de elaboración del hierro en el yacimiento. Se trataba de una banda de hierro rojizo de unos 6 cm de largo (Nota de A. González Blanco).

Mostraba un aspecto de herrumbre, lo cual no es de extrañar en un objeto de hierro enterrado durante tan dilatado espacio de tiempo. Debido a su alto grado de deterioro no merecía la pena proceder a su restauración, por lo que en el Instituto de Restauración de Madrid se contentaron con limpiarla y consolidarla dejando la pieza en el estado en que actualmente se encuentra.

Su morfología sugiere claramente que se trata de una espada en estado intermedio de fabricación. No obstante, se observan dos detalles llamativos:

1. El grado de oxidación es tan completo que no se aprecian a simple vista restos de hierro metálico. En ese caso uno se pregunta cómo la pieza mantiene aún su integridad. Una pieza *totalmente* convertida en óxido se desmorona por completo, pues los óxidos de hierro hidratados que constituyen la herrumbre son pulverulentos, por carecer de cohesión.

2. Observando detenidamente algunos pedacitos desprendidos de la pieza, que nos fueron suministrados, como sobrantes, por el Instituto Nacional de Restauración una vez concluido su trabajo, se observa en ellos al examinar su fractura, una naturaleza de tipo mineral-vítreo, en total disconformidad con la pulverulenta frágil que cabe esperar en una herrumbre.

En consecuencia, merecía la pena realizar un estudio arqueometalúrgico de la pieza para intentar esclarecer estos dos interrogantes. Naturalmente, para ello podíamos utilizar como probetas para análisis estos dos pedacitos de material sobrantes, que pueden ser destruidos sin desdoro de la pieza.

Los otros aspectos extraños a una espada, es decir, la sección redondeada de casi toda la pieza, y la forma bulbar de uno de sus extremos, pueden ser explicados como consecuencia de un proceso de hechurización o fabricación inacabada de la pieza.

5. MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DE LA PIEZA

Tomamos una muestra que, por su color y aspecto, correspondía al núcleo de la pieza. Medimos su densidad por simple pesada en aire y sumergida en agua, obteniéndose para la densidad un valor de $\rho = 3,34 \text{ gr/cm}^3$, muy distinto de la $\rho = 7,1 \text{ gr/cm}^3$ que corresponde al hierro metálico.

Las densidades de las especies químicas que pueden encontrarse en una pieza metálica son (hierro, restos de escoria, restos de mineral):

Especie química	Densidad en gr/cm^3
Hierro metálico	7,1
Magnetita Fe_3O_4	5,12 ~ 5,18
Hematitas Fe_2O_3	5,2 ~ 5,3
Cuarzo SiO_2	2,55 ~ 5,3
Óxidos de hierro hidratados	4,5 ~ 5,2
Anortita	2,8 ~ 3,1
Fayalita	3,27 ~ 3,37

La densidad $\rho = 3,34 \text{ gr/cm}^3$ de nuestra pieza apunta claramente a una composición marcadamente fayalítica de la «espada». El resultado es altamente significativo, pues nos saca a nuestra pieza de la secuencia del beneficio del hierro



ya que la fayalita (silicato de hierro) forma parte de las escorias siderúrgicas, pero no se transforma en hierro. Si la composición fayalítica de la pieza se confirmase, estaríamos ante una pieza que *no puede ser* ni podría *dar lugar* a una espada de combate, ya que la fayalita (cerámica) no posee la resistencia a los golpes que una espada de combate requiere, y que el tenaz hierro metálico posee. La fayalita metida en el horno del herrero no se transforma en hierro, sino que se ablanda como una pasta vítrea. El extremo blandamente doblado de la pieza (Fig. 6) puede ser consecuencia de ello.

Vamos a confirmar la naturaleza y estructura de la pieza.

6. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA PIEZA

Tomamos una serie de pedacitos sobrantes como muestras, cuidando de que no hubiese restos de la periferia de la pieza, que tiene indudables restos contaminantes. Fueron pulverizados y mezclados, a fin de que la muestra analizada sea representativa del promedio de la pieza. Realizamos con esta muestra un análisis de carbono y azufre, por una parte, y por otra, un análisis espectrométrico de emisión con registro en placa fotográfica. Los resultados, expresados en valores porcentuales, fueron:

C	S	Fe	Si	Cu	Ag	Sn	Mn	Ni
1,21	0,098	mucho	0,6	≤ 0,002	—	—	≤ 0,002	—

La interpretación de los resultados es evidente:

1. El contenido de carbono, muy elevado, nos dice que se trata de residuos carbonosos. Propio de una pieza que se ablanda en un horno de carbón vegetal, a fin de proceder a su forjado.

2. El azufre (muy escaso) y la ausencia de Ag y Sn indican que no estamos ante un aprovechamiento de escoria de metal no férreo.

3. La ausencia de Mn nos dice que no estamos ante un hierro de La Tene, la mayoría de ellos obtenidos de mineral (magnetita, hematites) de mina.

4. La ausencia de cobre es indicativa de que no estamos ante un hierro obtenido de un almagre.

La hipótesis más probable es que estemos, pues, ante una fayalita fabricada a partir de una limonita de arrastre, estadio metalúrgico correspondiente a una época no muy anterior a la conquista romana, identificable con las herrerías celtibéricas y su zona de influencia.

7. ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Parte de la muestra pulverizada fue sometida a un ensayo de difracción en cámara Debye Scherrer.

El difractograma mostró un ennegrecimiento generalizado intenso, con unas líneas de difracción poco marcadas, lo que apunta a una estructura semiamorfa, muy propia de una fayalita enfriada lentamente. La composición de la parte cristalina de la muestra resultó ser:

Fórmula química	Ficha ASTM	Nombre	Contenido (%)
FeSiO ₂ /2FeO · SiO	9-307	Fayalita	90
FeO	11-614	Wustita	10

En la ficha [9-307] se indica que la fayalita de este tipo, fabricada en el laboratorio con sílice y óxido de hierro, presenta pigmentaciones amarillentas. Ello es lo que contribuye a que al confundirse estos pigmentos con la herrumbre la pieza tome apariencia de hierro metálico oxidado. Y son etiquetadas, en consecuencia, como «piezas de hierro», aunque solamente son de hierro a medias.

8. ESTRUCTURA INTERNA DE LA PIEZA

Una vez conocida con seguridad la composición de la pieza, conviene comprobar su estructura interna, a fin de constatar que no se trata de un olivino natural, sino de una fayalita sintética y forjada para su conformación.

En la figura 7 tenemos expuestas unas micrografías del material que constituye nuestra pieza. Se observa fácilmente la estructura no cristalina (ausencia de granos) y las bandas en sentido longitudinal propias de la fuerte deformación plástica originada por el forjado.

Los colores nos detectan los restos carbonosos previstos, la fayalita descompuesta en algunos puntos en wustita y sílice, y alto de magnetita. Es decir, el examen microscópico confirma lo que el estudio analítico permitía prever.

9. EXAMEN RADIOLÓGICO

En la figura 8 se muestra una radiografía de la pieza. Aunque, por obligada reducción de tamaño, se pierden algunos detalles, se extraen claramente dos conclusiones:

1. La zona del cuerpo muestra unas líneas duras y firmes que corresponden a un agrietamiento propio de una forja en estado semifrágil. Es decir, no estamos ante una pieza de hierro forjado, que luego la oxidación, durante los siglos de enterramiento, trastocó en herrumbre, sino ante una pieza forjada de material no metálico.

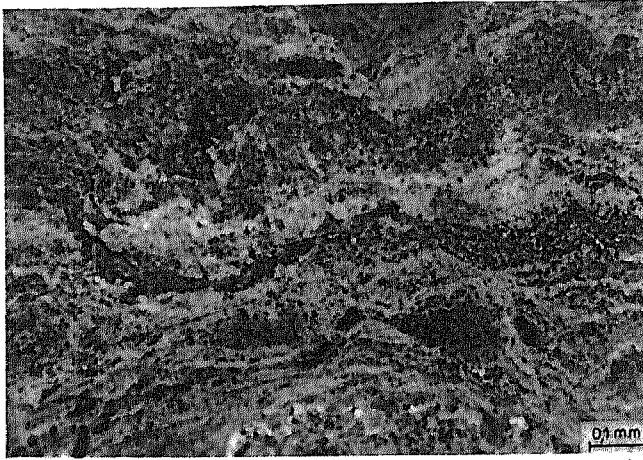
2. En la zona abulbada no hubo forja intensa, es decir, corresponde a la zona de la pieza que se agarró con las tenazas para proceder a la forja.

Estamos, pues, ante un producto metalúrgico de mediana calidad. En modo alguno poseía la categoría de una espada de hierro metálico, lo que destruye la hipótesis inicial de una espada depositada en la tumba de un guerrero; más bien hay que enmarcarla como pieza «de hierro» depositada en la tumba de un artífice forjador, si de una tumba se trata.

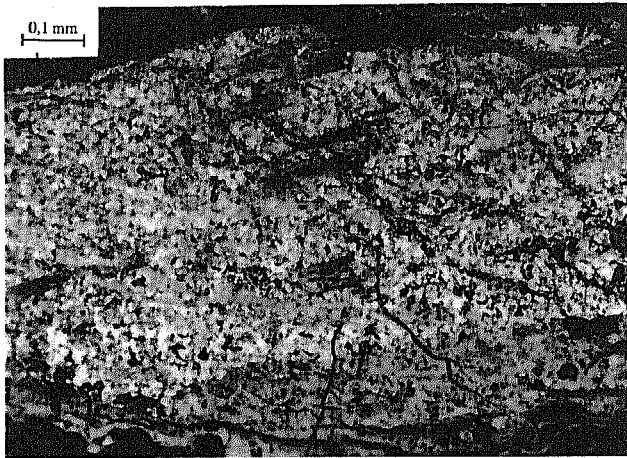
En la bibliografía arqueológica existen sobradas citas en las que se da cuenta de restos de la elaboración de los metales, depositados en tumbas de forma totalmente intencionada. Así, por ejemplo, Blázquez y otros⁶ describen en la necrópolis de Herdade do Pego (Portugal) cómo en el túmulo III «han aparecido varillas de hierro, un cinturón de garfios». En el túmulo IV apareció un fragmento de punta de lanza de hierro. En la necrópolis de Medellín describen una tumba situada a 1,05 metros de profundidad: «El hoyo circular medía 0,80 metros de diámetro y estaba relleno de tierra negra, que contrastaba con la amarilla del suelo. Un guijarro cubría la tapa de la urna (plato de torno de color gris), que estaba hecha también a torno, con barro de color rojo claro y pintada a bandas. Era de forma globular, de cuello cilíndrico y con dos asas. En el interior se halló un crisol de fundir metales».

6. BLÁQUEZ, J.M., PRESEDO, F., LOMAS, F.J. y FERNÁNDEZ NIETO, J., *Historia de España Antigua. I Protohistoria*, Ed. Cátedra, Madrid, 1980, pp. 356-359.

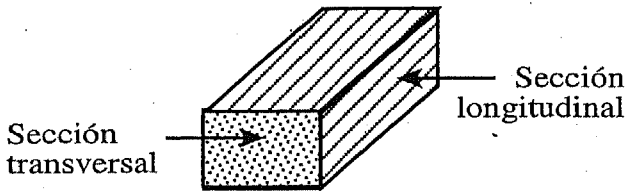
Figura 7: Microestructura de la pieza, mostrando la estructura de forja



a) Sección longitudinal

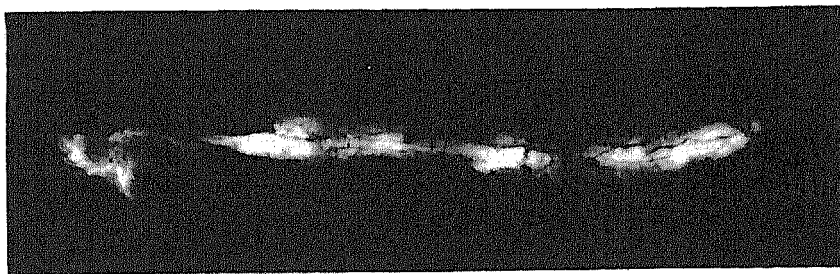


b) Sección transversal



c) Textura de forja

Figura 8: Radiografía de la pieza de la figura 6



Refiriéndose a otro lugar de la necrópolis, describen: «El ajuar estaba disperso por todo el *bustum* y se compone de una fíbula anular hispánica de bronce, de un cuchillo de hierro afalcatado, de una *pieza alargada de hierro*, de un escarabeo de caliza vidriado en azul, de dos cuentas de collar de pasta vítrea y de una copa a torno de pasta clara». En otro lugar de la necrópolis describen, asimismo, un depósito de ofrendas que «era más rico, pues estaba compuesto por una fíbula de bronce anular hispánica, por dos vástagos de bronce, terminados en dos remaches en forma de aspa, por una *chapa rectangular de hierro*, por una segunda de hueso, por un plato gris a torno, por un pequeño *clavo de bronce* y por *dos placas de hierro* rectangulares».

La significación de estas piezas ha de extraerse entre líneas, dado que el estudio arqueometalúrgico de estas piezas no fue realizado. Estamos en el estadio en el que las escorias ferruginosas son utilizadas con una forja *sui generis* intermedia entre la pasta vítrea y el metal puro. Por ejemplo, en la Cueva de la Monja (Mallorca) aparecieron unas piezas de este tipo que hoy se exponen en el Museo Arqueológico de Barcelona. En Cástulo apareció una punta de jabalina inicialmente conceptuada como «de bronce» (por su color similar al bronce rojo) y que nosotros demostramos ser de hierro⁷.

La forma de elaborar clavos con este material era hacer una plancha rectangular con la escoria ferrosa (de color similar al bronce) y enrollarla sobre sí misma con núcleo de arena, de una manera similar a los pasteles conocidos actualmente como «huesos de santo» y «brazos de gitano». Esta estructura así formada es forjable como una pasta vítrea basta, fabricándose así clavos baratos, que frecuentemente son etiquetados como «clavos de bronce» debido a su color. El bronce era muy lujoso material para ser utilizado en fabricación de clavos.

Así, pues, la pieza en cuestión, a pesar de su apariencia no debe ser considerada una espada, sino un lingote ferroso que en posteriores operaciones sería convertido en productos tales como clavos, punta de herramienta para excavar, etc.

Hay que encuadrarla en el mismo estadio tecnológico que la punta de jabalina de Cástulo (Linares, Jaén)⁸ y la estatuilla de Tricio⁹, estudiadas en anteriores trabajos.

7. MADROÑERO DE LA CAL, A. y AGREDA, I., "Contribución a la metalurgia de Cástulo", *Cástulo VI*, 1986.

8. MADROÑERO DE LA CAL, A. y AGREDA SUESCUM, M.I., "Los hierros de la España Prerromana", *I Congreso Internacional sobre Arqueometalurgia de Europa y el área Mediterránea*, Madrid, octubre de 1985.

9. MADROÑERO DE LA CAL, A., "Estudio de una estatuilla de fayalita aparecida en Tricio (Rioja)", *Caesaraugusta*, 63, 1986, pp. 181-203.

Mejor que pensar en espadas votivas, dado que los sacrificios en cualquier religión nunca eran con animales u objetos de segunda categoría, hay que pensar en objetos baratos para la vida cotidiana, tales como puntas de jabalina o flechas, tachuelas para el calzado, etc. El gran valor de la presente pieza es que su extremo abultado mantiene una huella de las tenazas del maestro forjador que trabajaba la pieza. Posiblemente ésta sea la primera huella registrada de unas tenazas de un forjador celtibérico, lo cual puede tener interés para la reconstrucción de las herramientas de los herreros de aquellas culturas, tema completamente inédito por el momento.