

# ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO: LA HERRERIA MEDIEVAL DE L'ESQUERDA, SIGLOS XII-XIII DC (RODA DE TER, CATALUNYA)

## ARCHAEOMETALLURGYCAL STUDY: THE MEDIAEVAL SMITHY OF L'ESQUERDA, 12<sup>TH</sup> -13<sup>TH</sup> CENTURIES (RODA DE TER, CATALUNYA)

ORIOL AMBLÀS NOVELLAS<sup>1</sup>, JUDIT MOLERA<sup>2</sup>, IMMA OLLICH CASTANYER<sup>3</sup>

(1) Museu Arqueològic de l'Esquerda, c/ Dr. Fleming, 5. 08500 Vic (Barcelona).

(2) Universitat de Girona.

(3) Universitat de Barcelona - Museu Arqueològic de l'Esquerda.

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es el estudio metalográfico de 15 objetos metálicos encontrados en una herrería del siglo XII-XIII d.C. descubierta en el yacimiento arqueológico ibérico y medieval de l'Esquerda (Roda de Ter, Catalunya) en 1998 por un equipo de investigación de la Universidad de Barcelona dirigido por la Dra. Imma Ollich. Las técnicas metalográficas utilizadas han sido: microscopía óptica metalográfica, microscopía electrónica de rastreo (MER), espectrometría de dispersión de rayos X (EDX), análisis de microdureza Vickers y espectrometría de emisión óptica. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que en el taller medieval de l'Esquerda se trabajaba con un hierro muy puro y con un gran conocimiento de las técnicas de soldadura. Además, el hallazgo de un resto de fundición de bronce confirma la hipótesis de la manufactura de otros metales. Para concluir hemos realizado la recreación de algunos objetos, siguiendo los parámetros de la arqueología experimental para poder comprender mejor las técnicas de fabricación.

### ABSTRACT

*The goal of the present research work is the metallographic study of 15 metallic objects found in a 12<sup>th</sup>-13<sup>th</sup> centuries smithy, in the l'Esquerda Iberian and Mediaeval site (Roda de Ter, Catalunya), which was found in 1998 by Dr Imma Ollich and her research group from the University of Barcelona. For the present study we used some different metallographic techniques: Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), Vickers Micro Hardness Analysis and Optical Emission Spectroscopy (OES). The results obtained show that in the l'Esquerda mediaeval workshop a very pure iron was used and that it was treated with a high knowledge on welding techniques. Furthermore, the find of a bronze smelting remain confirms that other metals were manufactured in the l'Esquerda mediaeval workshop. In the present study we also show the recreation of some of the objects to better understand their fabrication techniques. We reproduce the items following the archaeology experimental parameters.*

**Palabras clave:** Edad Media, Metalurgia, Herrería, "Ferrería", acero, cobre, bronce, técnicas de fabricación, Cataluña, Microscopía Óptica Metalográfica, MER, EDX, Microdureza Vickers, Espectrometría de Emisión Óptica.

**Key words:** Key words: Middle-Age, Metallurgy, Smithy, Blacksmith, steel, copper, bronze, fabrication technique, Catalunya, Optical microscopy, SEM, EDS, Vickers micro hardness analysis, Optical emission spectroscopy (OES).

## I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento ibérico y medieval de l'Esquerda se encuentra situado en la cima de una península, al paso del río Ter por la comarca de Osona, en Roda de Ter, Catalunya (Fig.1).



**Figura 1.** Vista aérea del yacimiento de l'Esquerda y localización de la herrería en el poblado medieval.

Las excavaciones arqueológicas han permitido documentar, hasta el momento, un largo período de ocupación entre los siglos VIII a.C. hasta inicios del siglo XIV d.C. Se localizan restos de cabañas en el bronce final, siglo VIII a.C. Un *oppidum* ibérico construido entre los siglos V-IV a.C., destruido en el siglo III a.C. y reconstruido en el siglo II-I a.C. Después de un período sin información, unos silos amortizados a comienzos del siglo VII d.C. constatan una presencia visigoda. A fines del siglo VIII d.C., los francos carolingios fortifican la Roda *civitas* siguiendo el curso del Ter, frente a los ataques musulmanes. A partir de los siglos X-XI d.C., el poblado alto medieval se estructura alrededor de una iglesia. Crecimiento del poblado medieval entre los siglos XII y XIII y abandono a inicios del siglo XIV (Ollich Castanyer, 2001: 9). En el periodo de crecimiento del poblado medieval entre los siglos XI y XIII documentamos una herrería, situada al oeste del yacimiento, que es objeto del presente estudio.

## II. LA HERRERÍA MEDIEVAL (H-40)

La herrería medieval de l'Esquerda H-40 fue excavada en 1998 por el Equipo de Excavaciones Arqueológicas de l'Esquerda, bajo la dirección de la Dra. Imma Ollich del Departamento de Historia Medieval, Paleografía y Diplomática de la Universidad de Barcelona<sup>1</sup>. Se trata de una habitación de 4 x 4 m excavada en la roca en la que se hallan restos de estructuras relacionadas con la forja del hierro y de la fundición ocasional del bronce y otros metales<sup>2</sup>:

Forja del hierro:

1. Fragua: restos de losas y piedras enmarcan dos fuegos en el centro y norte de la habitación.
2. Base de un yunque: situado delante de una de las fraguas: unas piedras forman una estructura.
3. Tanque para agua: restos carbonizados de un elemento de madera de forma circular.

Fundición del bronce:

4. Horno: bajo de arcilla cocida, adosado en la pared sur con restos de escorias y carbón relacionado.
5. Canal de aire: aprovechando una diaclasa natural en la roca y debajo el horno, en dirección norte-sur.

1. Actualmente Ollich está dirigiendo un proyecto de investigación sobre metalurgia, financiado por el MEC: *Arqueologia Experimental. Tecnologies de producció metalúrgica associades a la agricultura medieval*. DGICYT, HUM. 2004-05280.

2. Ampliamente estudiado por Ollich, Amblàs, Ocaña, Rocafiguera, Goula (2006): *Desperta Ferro! Vida quotidiana, treball, comerç i guerra a l'Esquerda. Catàleg dels metalls del Museu Arqueològic de l'Esquerda*. Publicacions del Museu Arqueològic de l'Esquerda (Berikars 1), Roda de Ter: 21-29.

### III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Entre los restos de estructuras halladas en la herrería de l'Esquerda se encuentran 42 objetos de metal, de los cuales se han analizado 15 piezas representativas en el laboratorio de los Servicios Técnicos de la Universidad de Girona.

Se han preparado probetas metalográficas de cada pieza, algunas de ellas en diferentes secciones, y se han observado al microscopio metalográfico y electrónico de rastreo (MER) para determinar la microestructura de los metales y ver cuales podían ser las técnicas utilizadas en su fabricación. Además, se ha analizado la composición química a través del análisis de dispersión de rayos X (EDX) acoplado al microscopio electrónico de rastreo (MER) y mediante espectrómetro de emisión óptica (OES).



Figura 2. Vista general de la herrería medieval (H-40) del siglo XII-XIII d.C. de l'Esquerda durante la excavación arqueológica en 1998.

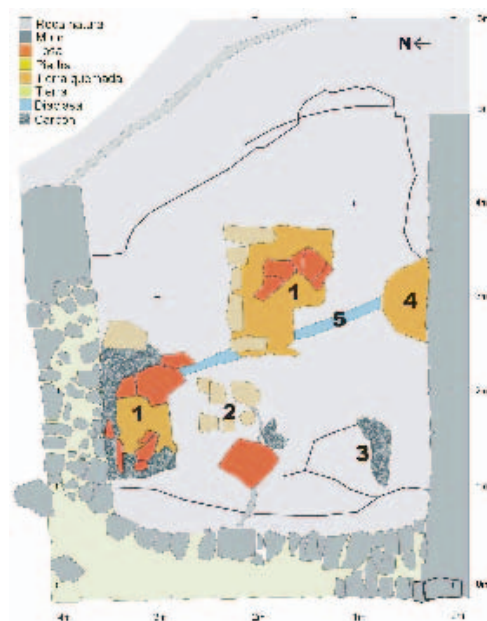


Figura 3. Planta de la Herrería medieval H-40

### IV. RESULTADOS

#### Acero

**Barra o “vergallina”** (Fig. 4): Producto semimanufacturado de 260 mm de longitud, de 9 a 4 mm de ancho y de un grosor de 5mm. El estudio metalográfico de un corte transversal de la pieza muestra que la barra está compuesta por tres piezas de acero de estructura diferente y soldadas entre sí por el sistema de “soldadura a la calda” o “blanc soudant” (Fluzin, 2001: 346).



Figura 4. Barra o “vergallina” E98-32025-2533 encontrada en la Herrería H-40 de l'Esquerda.



La “vergallina” tiene una estructura ferrítica con inclusiones de carburos, donde se pueden observar las cuatro partes bien diferenciadas.

Zona A: Pobre en Carbono, los granos de ferrita son de mayor tamaño que en las otras zonas y se observan inclusiones silíceas que son propias de la depuración del metal en su origen.

Zona B y C: Más ricas en Carbono y Vanadio (la presencia del Vanadio parece ser que está asociado a las zonas de soldadura). Las bandas de cristales de ferrita con inclusiones de carburos, situados entorno de los granos, aparecen formando unas líneas que indican un trabajo en caliente. (Fernández González, 1988:91-92).

Zona D: Soldaduras ricas en Carbono con una estructura más pequeña. Cerca de la soldadura D1 los granos de ferrita son más grandes a causa de la descarburación. Y alrededor de ésta se observan inclusiones silíceas en línea.

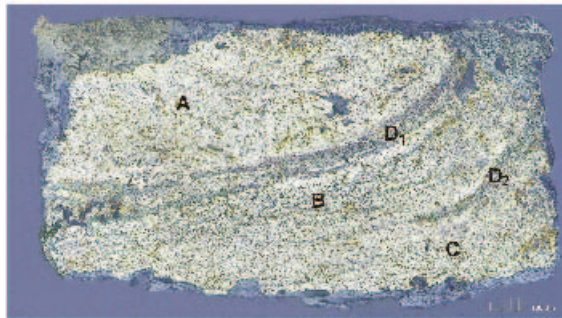


Figura 5. Vista de la muestra E2533/a en el microscopio óptico metalográfico.

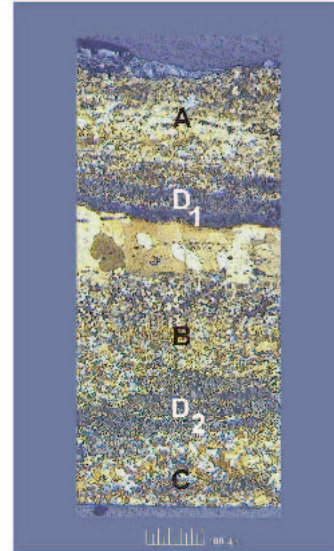


Figura 6. Vista de la muestra E2533/b en el microscopio óptico metalográfico.

La composición global por espectrometría de emisión óptica (OES) indica que en las zonas B y C se trata de un acero de 57,7% Hierro, 6,6% Sílice, 2,5% Níquel y 0,16% de Carbono.

Program : F-10  
 Comment : Low alloy steel  
 Single spark(s)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.1628	6.6000	0.8475	0.1560	0.0658	0.0129	0.0357	2.5059	0.6095
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	As
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.0008	0.0005	0.0720	0.0407	0.0068	0.1719	0.0300	0.0290	0.1200
Zr	Ca	Ce	Ta	B	Zn	La	Fe	
%	%	%	%	%	%	%	%	
0.0039	0.0156	0.0858	0.0420	0.0108	0.0009	0.1242	57.77	

Tabla 1. Resultados del análisis por espectrometría de emisión óptica (OES) de la muestra E 2533.

**Hoz** (fig. 7): Herramienta cortante destinada a las actividades agrícolas. Hoz de pequeñas dimensiones de 280 mm de longitud, de 30 a 3 mm de ancho y de 6 a mm de grosor. Para conocer la composición global de la pieza se ha realizado un corte transversal en la extremidad de la herramienta.

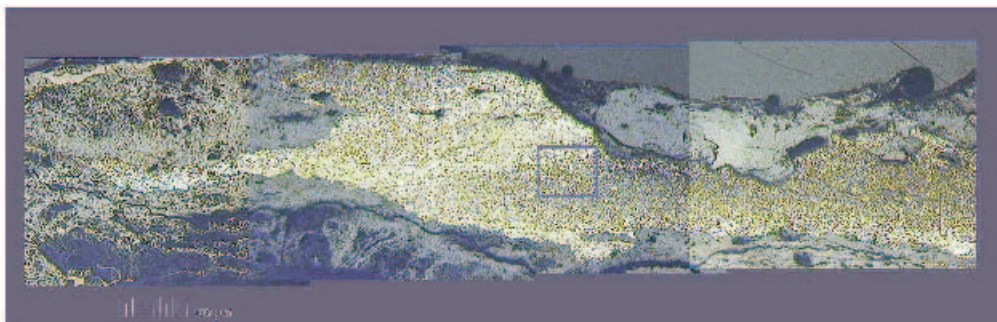


**Figura 7.** Hoz E98-32013-2492 encontrada en la Herrería H40.

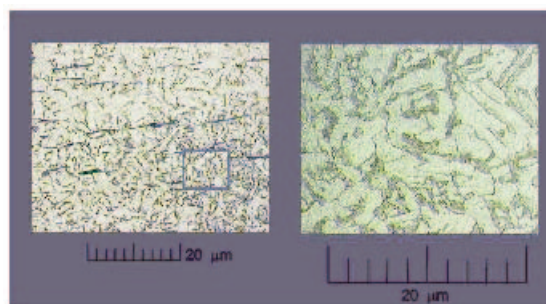
La observación metalográfica muestra una estructura con granos de ferrita y perlita en el corazón de la pieza, así como una estructura de granos grandes de ferrita en el exterior que relacionamos con una posible descarburación de la pieza.

También el análisis permite ver unas inclusiones inclusiones síliceas deformadas en el sentido del martilleo que aparecen en la estructura ferrítica.

La microestructura del corazón de la pieza parece afectada por las altas temperaturas y se interpreta con una posible fusión de las fronteras de los granos de ferrita por acumulación de soluto de carbono.



**Figura 8.** Vista de la muestra E2492 en el microscopio óptico metalográfico.



**Figura 9.** Hoz E2492 detalle.

**Clavo** (Fig. 10): clavo de acero dulce de 77 x 8-2 x 5-2 mm. El estudio metalográfico de un corte transversal de la punta del clavo, permite observar una estructura de granos grandes de perlita alrededor de los cuales, los granos de ferrita se forman con orientaciones paralelas hasta el interior de la perlita. Mientras en el exterior se observa una descarbonación con granos de ferrita e inclusiones de carburos.

Vemos en el exterior: una estructura de posible bainita superior (A) y en el corazón de la pieza se observa un fenómeno característico de estructura de Windmastatten (B) que indica un enfriamiento relativamente rápido (Fernández González, 1988: 44).

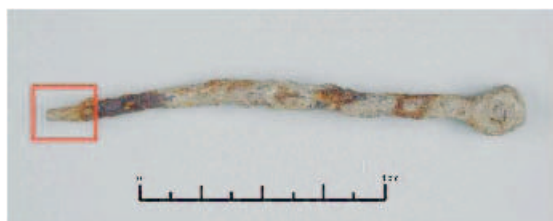


Figura 10. Clavo E98-32002-1111.

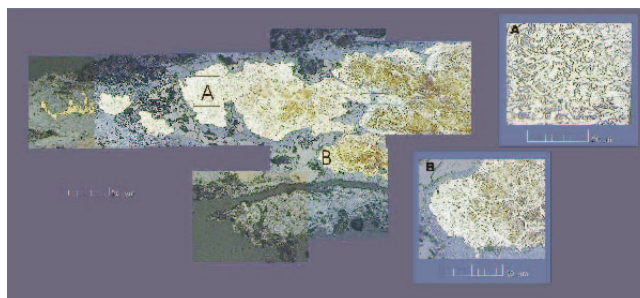


Figura 11. vista general y detalles de la muestra E1111 en el microscopio óptico metalográfico.

**Boquilla de fuelle** (Fig. 12): pequeña boquilla de fuelle de sección circular y forma cónica. De 55 mm de longitud, de 20 a 14 de ancho y un grosor de la lámina de 3 mm. La pieza que se encuentra en un estado avanzado de corrosión, por lo cual sólo identificamos una parte pequeña de metal (A). Este objeto presenta además una soldadura en cobre (B) en las que vemos inclusiones dendríticas de cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) con porosidades (Bj). El estudio de la pequeña parte de hierro conservada (A), permite observar que tiene una estructura ferrítica con inclusiones de carburos a su alrededor.

Interpretamos la presencia de esta soldadura como un procedimiento de unión del hierro con otro de punto de fusión más bajo, en este caso el cobre<sup>3</sup>.

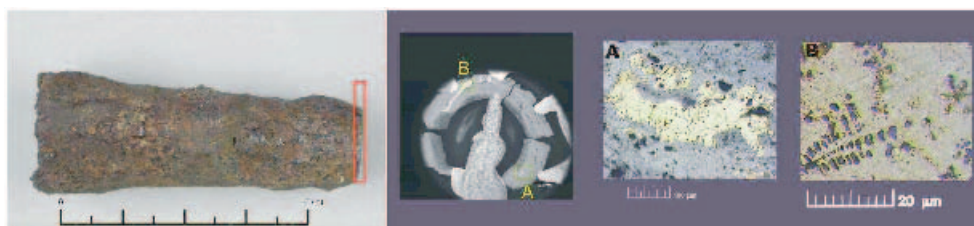


Figura 12. Boquilla de fuelle E98-32008-1457. Vista en el SEM y detalles observados en el MOM.

## Cobre y aleaciones

**Hebilla de cobre** (Fig. 13): Placa de hebilla de cobre de 34 mm de longitud, 12 mm de ancho y 3 mm de grosor. El objeto ha perdido parte del elemento de sujeción a la hebilla propiamente dicha. En el estudio macroscópico se observan unos motivos decorativos realizados con punzones de punta triangular en el anverso de la pieza. También se usó otro punzón oval para fabricar los agujeros de sujeción de la hebilla.

3. Este sistema de unión es muy conocido en la forja tradicional catalana. Utilizado como falsa soldadura o “solda groga” (soldadura amarilla), denominado así sobre todo cuando el metal de unión es el latón, de color amarillento.



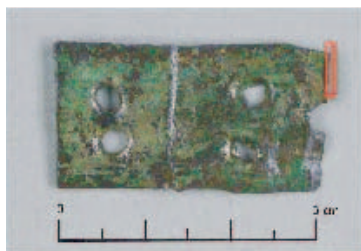


Figura 13. Hebillas de cobre E98-31005-414.

El estudio de un corte transversal de la hebilla, permite ver una orientación de los cristales maclados de cobre. Esta microestructura es típica de un tratamiento térmico de recocido de recristalización con un posterior trabajo de deformación (Pernot, 1996: 42).

El análisis global por EDX, efectuado en la muestra, determina que se trata de cobre puro con inclusiones de plomo y arsénico. En el estudio en el microscopio electrónico de rastreo (MER) observamos (Fig. 14) que este tipo de inclusiones presentan la misma dirección de trabajo de deformación causada por el martilleo<sup>4</sup>.



Figura 14. Hebillas de cobre E414. Marcas de punzon. Vista al microscopio óptico y en el MER.

**Desecho de bronce** (Fig. 15): De 47 mm de longitud, de 14 a 7 mm de ancho y un grosor de 2 mm. El análisis elemental por EDX muestra que se trata de un bronce ternario: 73% Cu, 23% Sn y 3% Pb<sup>5</sup>. Este tipo de aleaciones es muy parecida a la utilizada para fabricar campanas<sup>6</sup>. Rovira observa que en el diagrama de fases de un bronce de campanas se observa una línea de retención de 796°C solidificado por una fase beta con una composición del 22% de estaño (Rovira Llorens, 2003:22-23).



Figura 15. Desecho de Bronce E98-32010-1538.

También este tipo de aleación podría ser utilizado para otro tipo de aplicaciones, como ha señalado M. Pernot, se podría tomar en consideración el uso de este metal para la fabricación de espejos, como sucede en época romana (Pernot, 1996: 43).

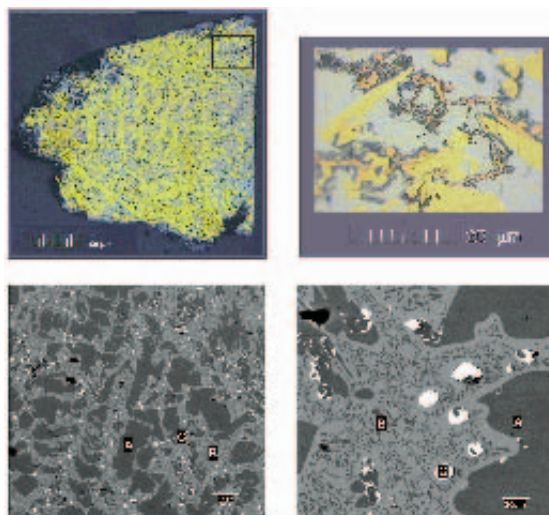
El estudio metalográfico de este tipo de objeto arqueológico ha permitido confirmar que se trata de un desecho del trabajo de fundición (Fig. 16). Las dendritas o estructuras en forma de espina muestran que la pieza se enfrió de forma rápida después de la fundición, en la cual no se empleó ningún otro tratamiento posterior. Además en el estudio se descubrió un pequeño hilillo de cobre que parece que no llegó a fundirse con el resto de aleación, como se aprecia en la imagen.

Observando la microestructura en el microscopio electrónico de rastreo (MER) se aprecia que efectivamente se trata de un desecho de bronce en bruto de colada, en la que vemos tres fases: A) fase alfa rica en cobre (dendritas), B) fase delta rica en estaño (matriz), C) inclusiones de plomo.

4. Este fenómeno se produce a causa del origen menos duro del plomo que la propia matriz rica en cobre que se encuentra inalterado por la acción mecánica. (Fernández, T. 1988: 42).

5. Como comenta Pernot, M. en su artículo "Archéometallurgie des alliages à base cuivre, techniques et ateliers de fabrication" p. 42-52 Teruel, 1996, el hecho de añadir plomo en la aleación de base cobre es voluntaria cuando ésta sobrepasa el 3%. "On considère généralement qu'une addition est très certainement volontaire au-dessus de 3% environ; en dessous de 0,5%, il s'agit de traces non intentionnelles [...]" p. 43. Teruel, 1996.

6. Este tipo de bronce es frágil y no puede ser trabajado por martilleo. Es precisamente el estaño el que da sonoridad a las campanas.



**Figura 16.** Desecho de Bronce E1538 vistas en el microscopio óptico metalográfico e imágenes en el microscopio electrónico de rastreo (MER).

## V. ARQUEOLOGÍA EXPERIMENTAL

En el estudio de Arqueología Experimental, llevado a cabo en el Área de Experimentación Arqueológica de l'Esquerda, se ha recreado una aleación de bronce rico en estaño. El proceso de fundición se ha llevado a cabo en un bajo horno construido recreando el bajo horno descubierto en la herrería medieval H-40, siguiendo los parámetros de la arqueología experimental (Fig. 17).



**Figura 17.** Arqueología Experimental. Área de Recerca Experimental de l'Esquerda. Análisis metalográfico de un desecho de la recreación.

También se ha recreado una soldadura “a la calda”, reconstruyendo la fragua encontrada en la herrería medieval de l'Esquerda. En ella se han soldado tres piezas de hierro tomando como referencia datos etno-gráficos. El estudio ha permitido comparar las muestras halladas en l'Esquerda con las de la experimentación, observándose los mismos parámetros correlativos.

## VI. CONCLUSIONES

Confirmando la hipótesis efectuada por los arqueólogos, en la herrería medieval de l'Esquerda encontramos un artesanado local que combina el trabajo del hierro forjado con la fabricación de objetos de otros metales, como el cobre, el bronce y ocasionalmente el plomo y el peltre<sup>7</sup>.

7. Los resultados del análisis del plomo y del peltre no se presentan por estar en proceso de estudio.



El herrero de l'Esquerda treballava un acer baix en carboni i apuntamos la possibilitat de que practicara una forja de reciclatge<sup>8</sup>, utilitzant diferents tipus d'acers de entre 0,10% a 0,18% de Carboni. Se han identificat dos tipus de soldadura: a) una soldadura que aprofita la capacitat d'auto-soldadura del ferro mitjançant el sistema denominat soldadura "a la calda" i b) un altre sistema, conegut com a falsa soldadura que per afegida d'un altre metall de punt de fusió menor, en aquest cas el coure, actua com a sistema d'unió. Moltes de les microestructures observades en els objectes de ferro se aprecien a temperatures altes i un alt procés de descarbonat.

La identificació d'un desdrossat de bronze en estat brut de colada, semblant al tipus de bronze utilitzat per a la fabricació de campanes i la hebilla de coure decorada, demostra el treball d'altres metalls i que nos trobem amb una mà d'obra qualificada. Per un altre costat, l'estudi de l'arqueologia experimental demostra que no cal una gran infraestructura per treballar aquests metalls.

## BIBLIOGRAFIA

AMBLÀS, O.; OCAÑA, M.; OLLICH, I. 2003: "Metalls i metal·lúrgia a l'Esquerda medieval (Roda de Ter, Osona)" en *Seminari sobre Eines i Instrumental Metàl·lic Medieval (Museu Arqueològic de l'Esquerda, Roda de Ter, juny 2002)*: 31-39.

FERNANDEZ, T. 1988: *Metalografía de aceros y fundiciones*. Dpto. de Ingeniería Mecánica y Expresión Gráfica de la Universidad de Málaga. Málaga. 181 p.

FLUZIN, P.; BENOIT, P.; KIENON, H.T.; KIETHEGA, J.B.; EL KEDIM, O. 1995: "Apports de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire des procédés directs à partir des vestiges archéologiques: intérêts des comparaisons ethnoarchéologiques" en MAGNUSON G. (ed): 56-64.

FLUZIN, P. 2001: "Apport de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire en sidérurgie; matériaux archéologiques et procédés. Etude métallographiques" en *Actes del 6è curs d'Arqueologia d'Andorra 2000 del 2 d'octubre al 5 d'octubre de 2000. L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*. Govern d'Andorra: 63-78.

GIL, F.J.; MANERO, J.M. 2005: *Metalografía*. Universitat Politècnica de Catalunya.

OCAÑA, M.; AMBLÀS, O. 2005: *Quadern de camp*. Àrea de Recerca Experimental de l'Esquerda.

OLLICH, I.; AMBLÀS, O.; OCAÑA, M.; ROCAFIGUERA, M.; GOULA, M.C. 2006: *Desperta Ferro! Vida quotidiana, treball, comerç i guerra a l'Esquerda*. Catàleg dels metalls del Museu Arqueològic de l'Esquerda. Berikars 1. Publicacions del Museu Arqueològic de l'Esquerda. Roda de Ter.

OLLICH, I.; ROCAFIGUERA, M. 2001: *L'Esquerda 2500 anys d'Història. 25 anys de recerca*. Ed. Fundació Privada l'Esquerda.

OLLICH, I.; OCAÑA, M.; ROCAFIGUERA, M. 1998: *Experimentació Arqueològica sobre conreus medievals de l'Esquerda, 1991-1984: Arqueologia experimental: aplicació a l'agricultura medieval mediterrànea*. Col. Monografies d'Arqueologia medieval i Postmedieval, nº 3. Osona. Departament d'Història Medieval, Paleografia i Diplomàtica. Facultat de Geografia i Història. Divisió de Ciències Humanes i Socials. Universitat de Barcelona. Barcelona.

---

8. Philippe Fluzin parla de la forja "de recyclage" on es procedeix a la fabricació d'objectes amb moltes soldadures amb elements de tall i naturalesa del acer variables. (Fluzin, P. 2001: 347)

OLLICH, I.; OCAÑA, M.; RAMISA, M.; ROCAFIGUERA, M. 1995: *A banda i banda del Ter. Història de Roda*. Col. L'Entorn. Eumo Editorial. Ajuntament de Roda de Ter. Roda de Ter.

PEREZ, J.; AGUAROD, C.; LAPUENTE, M.P.; FELIÚ, M.J.; PERNOT, M: 1996: *Arqueometría y caracterización de materiales arqueológicos*. Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología IV. Teruel.

PERNOT, M. 2002: "Mise en forme des alliages cuivreux et archéométrie" *La Revue de Métallurgie*: 97-111.

PERNOT, M.; ROLLEY, C. 1999: "Techniques antiques du bronze 2. Méthodes d'étude-procédés de fabrication". *CRTGR* 15. Dijon, 78 pág.

PERNOT, M.; ROLLEY, C. 2000: "Le bronze et les bronzes-le rôle de l'archéométrie". *Dossiers d'Archéologie-Archéométrie*, 253, mai 2000: 62-69.

REYNOLDS, P.J. 1988: *Arqueologia experimental. Una perspectiva de futur*. Ed. Eumo. Vic.

ROVIRA, S. y GOMEZ, P. 2003: *Las primeras etapas metalúrgicas en la península ibérica. III. Estudios metalográficos*. Universidad Complutense de Madrid. 208 pág.

ROVIRA, M.C. 1997: "De bronzistes a ferrers: dinàmica de la metal·lúrgia protohistòrica al nord-est peninsular a Cota Zero". *Revista d'Arqueologia i Ciència*, 13. Desembre. Eumo Editorial: 59-70.

SANCHO, M. 1999: *Homes, fargues, ferro i foc. Arqueologia i documentació per a l'estudi de la producció de ferro en època medieval*. Col. Cultura, Tècnica i Societat. Núm. 17. Associació/Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. Ed. Marcombo Boixareu Editores. Barcelona.

TYLECOTE, R.F. 1987: *The Early History of Metallurgy in Europe*. Longman. London.