

# Aproximación a la metalurgia del hierro en la sierra del Monje. Una forma de vida

Marta Sierra - José M.<sup>a</sup> Gómez - José L. Navarro  
Juan L. Baldonado - Alicia Soria\*

## RESUMEN

*En el presente trabajo se estudia la metalurgia férrea del yacimiento ibérico de Fuente de la Mota, en la provincia de Cuenca (siglos IV a. C. – I a. C.) a través de productos (muestra mineral) y subproductos metalúrgicos (escoria, chapa y clavo) mediante caracterización estructural (difracción de rayos X), caracterización morfológica (microscopía óptica y electrónica de barrido), determinación composicional química (dispersión de energías de rayos X) y caracterización mecánica (dureza Vickers).*

## SUMMARY

*In this essay, we study the iron metallurgy of the Iberian site of Fuente de la Mota, in Cuenca (4th-1st centuries BC) with metallurgic products (mineral sample) and subproducts (slag, sheets and nails) by means of the structural description (X-ray diffraction), the morphological description (optical and scanning electron microscopy), the chemical compositional determination (X-ray energy diffusion) and mechanical description (Vickers hardness).*

## UBICACIÓN

Situado el yacimiento en la sierra del Monje, forma parte de la prolongación de la serranía de Cuenca en su enlace con la cordillera ibérica. (fig.1). Se ubica en el paraje conocido como *Fuente de la Mota*, a unos 2 km de la población más cercana y próximo a la ribera del Júcar, donde en la actualidad se encuentra el embalse de Alarcón; se accede por el término municipal de Olmedilla, población que cubre una de las vías ibéricas que parten del municipio de Barchín, lugar de paso natural y cruce de grandes rutas viarias, la Real de Valencia, el camino de Murcia, más conocido como *vía de Aníbal*, o la alta Andalucía, que atraviesa la llanura albacetense para, buzando por el sur de la provincia de Cuenca, llegar a este asentamiento que se integra en el grupo de los pueblos ibéricos de la submeseta sur, con una cronología del siglo IV a. C. y continuidad durante el siglo I a. C. / d. C. (CURBERA, SIERRA y VELÁZQUEZ, 1999) en un paisaje mediterráneo de monte bajo, olivos y algunas vides, junto a cereal y caza menor, sin que falte en determinados refugios de la sierra el jabalí.

Los terrenos geológicos en que surge el yacimiento pertenecen al Cretácico. Las formaciones del Cretácico inferior no están muy desarrolladas en la zona, formadas por areniscas y arenas más o menos arcillosas, que son el nivel de base del Cretácico de la región. El superior está formado por calizas y margas alternantes con calizas margosas en la parte inferior calizas y calizas margosas en su parte superior. Es el aprovechamiento para su industria (SIERRA *et alii*, 1981; CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN Y CULTURA, 1995).

---

\* Marta Sierra, directora de las excavaciones del yacimiento Fuente de la Mota (Barchín del Hoyo, Cuenca); José María Gómez y Alicia Soria, del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ciencias Químicas (UCM); José Luis Navarro, del Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial, y Juan Luis Baldonado, del Centro de Microscopía Electrónica Luis Brú (UCM).



Fig. 1. Mapa del entorno del yacimiento Plaza de Moros, ubicación del asentamiento.

Esta ciudadela, rodeada de una muralla, a la cual se accede por una puerta por el lado sur-sureste, es el lugar donde se desarrolla la industria alfarera y metalúrgica aprovechando la materia prima del entorno, que le lleva a ser el centro comercial de la zona no solo por controlar el mineral de hierro en minas a cielo abierto y los barros sino también por ser el cruce de grandes vías, como comentábamos arriba.

### Metalurgia

La historia metalúrgica, objeto de nuestro estudio, se inicia en 1984 con unas prospecciones electromagnéticas de la Universidad de Tours (Francia), cuyos resultados se exponen en la ciudad de Cuenca y en el Ateneo de Madrid, seguidas de una nueva campaña en 1986, año en que se descubre la muralla oeste-noroeste/este-sureste y el posible horno metalúrgico, dentro de la meseta del cerro.

En los noventa del siglo XX se vuelven a realizar campañas, y se inicia la excavación en el año 2000, en la ladera sur del cerro, en la denominada *Cata de Alain* (fig. 2), con una revisión de las prospecciones magnéticas dentro del programa que estábamos ejecutando (SIERRA y KERMORVANT, 1988; SIERRA, 1998 y 2001).

En 2001, el proyecto metalúrgico subvencionado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha analizó los materiales de la mencionada cata, así como el mineral procedente de la mina descubierta en 1998. Posteriormente, en 2002, en las III Jornadas de Patrimonio de la Asociación Cultural Tierra de Alarcón, se da a conocer el proyecto con una exposición en la villa de Alarcón (Cuenca).

### Proceso

Según estos resultados y los materiales encontrados en la excavación, se ha deducido que el mine-

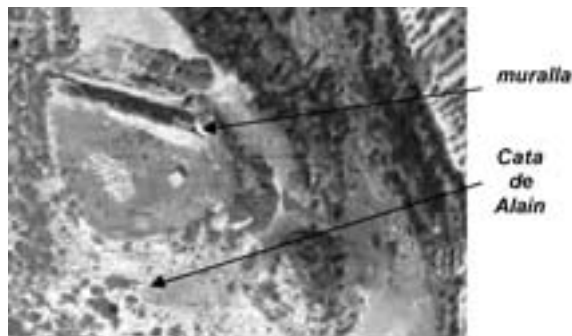


Fig. 2. Yacimiento y entorno.

ral procedente de la mina, en el lugar conocido como *Tío Calores*, en la proximidad, así como en la propia falda del cerro y en los aledaños, como igualmente se deduce de otras fuentes consultadas (GÓMEZ, 1996; MOHEN, 1992; ARANA *et alii*, 1993; ROVIRA, 2000; TYLECOTE, 1987), es transportado, bien con carros, cuyas rodadas se observan en diferentes accesos del asentamiento, o bien con asnos, animales cuyos restos óseos se han encontrado en el estudio faunístico.

Todo apunta a que su metalurgia se realiza básicamente por el método directo: tostación, reducción, primera forja para eliminar escoria y obtener el lingote...

## MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Materiales

Se ha realizado el estudio de una muestra de mineral denominada NM procedente de la sierra del Monje en el camino de Navodres, así como de piezas metalúrgicas, procedentes todas ellas de la Cata de Alain, denominadas *escoria esponjosa*, *chapa* y *clavo*.

### Procedimiento experimental

El procedimiento experimental que se ha realizado queda reflejado en la figura 3 (GÓMEZ, *et alii*, 2000). La identificación y composición de las fases cristalinas presentes en el mineral se lleva a cabo mediante el estudio de la muestra con espectrometría de difracción de rayos X (DRX), utilizando un difractor, marca Philips, modelo X'Pert, con una tensión de 45 kV y una intensidad de 40 mA.

Para caracterizar microestructuralmente las muestras se realiza un estudio mediante las técnicas

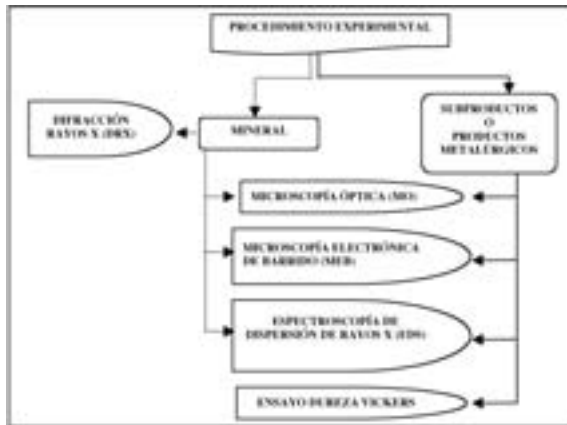


Fig. 3. Esquema del procedimiento experimental utilizado.

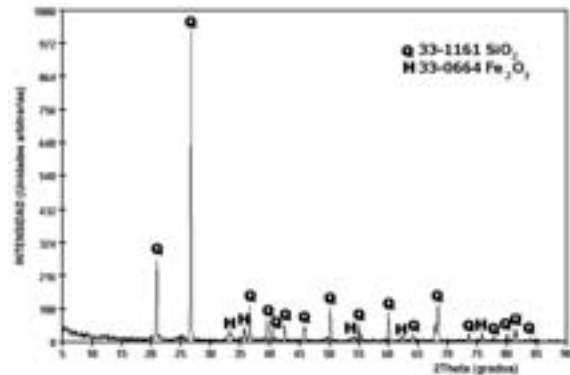


Fig. 4. Identificación DRX de muestra mineral.

de microscopía óptica (MO); el banco metalográfico utilizado es de la marca Olympus, con cámara digital de vídeo Cemty YCH-03, y utilizamos el programa TViewer98 en la captura de micrografías por ordenador (GÓMEZ, *et alii*, 2000). También se utilizan técnicas de microscopía electrónica de barrido (MEB), donde se utiliza un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, modelo JSM6400, con una resolución de 35 Å a 35 kV, a una distancia de 8 mm. Además, esta técnica lleva incorporada un espectrómetro de dispersión de energías de rayos X (EDS), marca Oxford, modelo Inca, con una resolución de 138 eV a 5,39 keV, con objeto de analizar la composición química de las muestras. Finalmente, con objeto de caracterizar mecánicamente estos productos, se procede a la medida de microdureza Vickers, utilizando un durómetro marca Akashi AVK-AII, con una carga en la indentación de 3 kg y 20 s de penetración.

Angulo (°2θ)	Intensidad relativa picos (%)	Mineral	Angulo (°2θ)	Intensidad relativa picos (%)	Mineral
20.91	25.12	Q	59.94	8.20	Q
26.67	100.00	Q	62.42	1.24	H
33.19	2.43	H	64.04	2.36	Q
35.66	3.41	H	65.75	0.61	Q
36.59	10.81	Q	67.74	5.84	Q
39.50	7.15	Q	68.34	11.99	Q
40.31	4.22	H	71.14	0.51	H
42.47	5.50	Q	73.55	1.63	Q
45.81	5.30	Q	75.67	2.56	Q
49.38	1.04	H	75.90	1.10	H
50.17	11.19	Q	77.73	0.99	H
50.83	0.50	Q	79.87	1.61	Q
54.12	1.34	H	81.17	3.18	Q
54.88	5.21	Q	81.49	4.58	Q
55.43	1.24	Q	83.83	1.83	Q
57.17	0.37	H			

Tabla I. Identificación de las líneas de difracción de la muestra mineral.

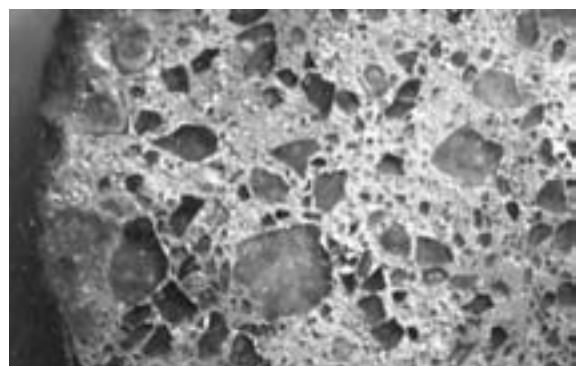


Fig. 5. Macrografía de la muestra mineral (X 70).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Muestra mineral**

**DRX**

El difractograma de la muestra del mineral NMI indica que esta muestra se compone de cuarzo, de fórmula

$\alpha$ -SiO<sub>2</sub> representado por Q, y hematites, de fórmula Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, representado por H (fig. 4).

En la tabla I se recogen los datos acerca del ángulo de difracción 2θ, intensidad relativa e identificación de la muestra de mineral.

**MO**

La macrografía indica la presencia de diferentes tonalidades debido a las distintas fases minerales, además de la granulometría del mineral y el tamaño de inclusión, que se encuentra en menos de 1,5 mm (fig. 5).

**MEB**

En la tabla II se recogen los análisis cuantitativos, en porcentaje en peso de los elementos presentes en la muestra mineral NMI, mediante la técnica EDS, donde se comprueba la existencia de una fase mineral y de una masa cementante.

Análisis	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
NMI1	1,05	0,31	7,27	59,18	0,39	0,22	0,06	1,28	30,25
NMI2	1,05	0,11	9,81	56,62	0,53	0,34	0,27	1,12	30,15
NMI3	1,43	0,31	7,71	58,32	0,92	0,41	0,30	1,81	28,78
NMI4	1,27	0,20	8,23	57,59	0,82	0,61	0,27	2,08	28,92
NMI5	0,91	0,24	6,86	55,12	0,18	0,27	0,44	1,40	34,57
NMI6	0,96	0,29	6,76	59,62	0,49	0,25	0,30	1,35	29,99
NMI7	1,14	0,22	6,95	61,70	0,60	0,51	0,25	1,38	27,25
NMI8	1,41	0,28	7,64	58,92	0,78	0,49	0,19	1,11	29,17
NMI9	0,84	0,19	7,07	61,12	0,52	0,28	0,12	1,42	28,43
NMI10	0,82	0,28	7,15	62,69	0,53	0,37	0,21	1,02	26,94
Valor medio	1,09	0,24	7,54	59,09	0,58	0,37	0,24	1,40	29,45

Tabla II. Elementos (% peso) presentes en el mineral.

**Escoria esponjosa**

**MO**

Esta pieza (fig. 6) es de color marrón oscuro, porosa, y además contiene pequeñas manchas blancas, marrón claro, gris, verde y naranja.

La muestra, una vez preparada metalográficamente, presenta un aspecto poroso, con un tamaño de poro muy heterogéneo. Mediante la técnica de MO,

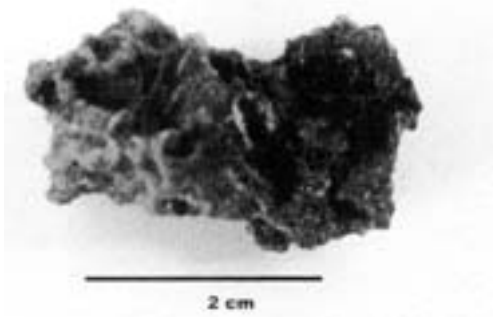


Fig. 6. Macrografía de la escoria esponjosa.

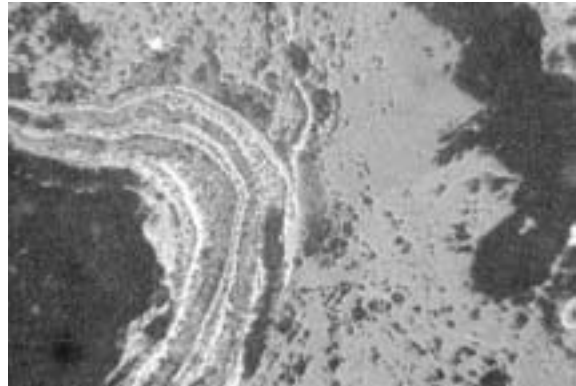


Fig. 7. Imagen de MO (X300).

se aprecia a mayores aumentos varias fases que se distinguen por las diferentes tonalidades (fig. 7).

**MEB + EDS**

Los análisis cuantitativos de cinco zonas diferentes de la escoria y su media, mediante EDS, se recogen en la tabla III.

Análisis	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe
1	1,46	4,80	5,02	45,52	0,38	1,14	11,32	30,37
2	1,09	3,94	4,13	35,09	0,42	0,61	9,60	45,11
3	1,53	3,39	7,79	28,67	0,49	0,89	8,92	48,32
4	0,79	4,21	4,71	37,49	0,25	1,04	11,96	39,55
5	1,28	4,5	3,82	35,42	0,30	0,87	9,09	44,72
Valor medio	1,23	4,17	5,09	36,44	0,37	0,91	10,18	41,62

Tabla III. Elementos (% peso) presentes en la escoria esponjosa, analizados mediante EDS.

Un detalle de la zona, a más aumentos, indica la presencia de múltiples fases (fig. 8). Mediante EDS,

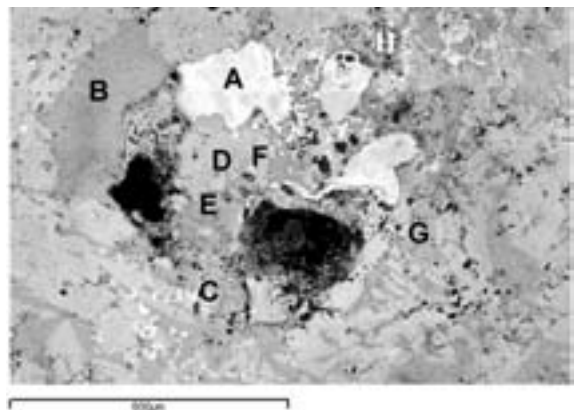


Fig. 8. Detalle de la superficie multifásica.

Análisis	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe
A	55,84			0,56	5,49	0,14				37,98
B	56,76		0,26	3,63	21,77		1,16	6,86	0,17	9,39
C	60,70	0,53	0,24	2,76	13,21	1,94		0,15		20,47
D	53,17		6,08	0,17	16,73			2,19		21,65
E	56,69	0,63	0,33	4,01	21,34		0,94	6,20	0,15	9,71
F	59,34			3,36	19,15		1,32	6,98		9,85
G	59,74		1,72	0,70	15,64			0,26	6,72	15,22
H	62,41	0,74	0,34	2,20	15,16	0,30	0,44	1,86		16,56

Tabla IV. Análisis de las diferentes fases señaladas en la figura 8.

se determina la composición química de las muestras y se observa que la fase A es un óxido de hierro y las fases marcadas de B a H son diferentes tipos de silicatos de hierro con otros elementos como Al, Ca y Mg (tabla IV).

**Chapa**

**MO**

La pieza encontrada en la Cata de Alain, identificada como C1B-004, Barchin2000, fue denominada

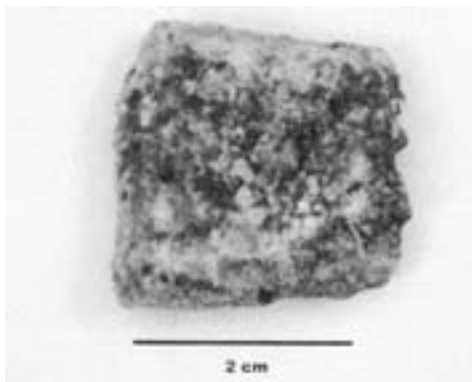


Fig. 9. Macrografía de la chapa.

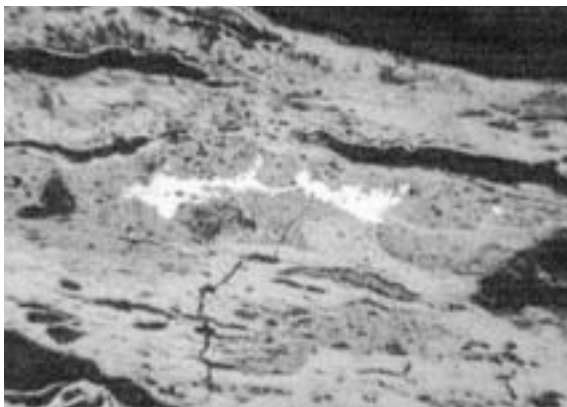


Fig. 10. Imagen de MO (X300).

chapa y presenta manchas de colores marrón y blanco (fig. 9). La sección transversal muestra dos tipos de láminas intercaladas: una metálica y otra alterada (fig. 10).

**MEB + EDS**

Los análisis cuantitativos, en porcentaje de peso de los elementos presentes en cinco zonas diferentes de la pieza, se muestran en la tabla V.

Análisis	Na	Mg	Al	Si	Cl	Ca	Fe
1			1,70	2,51	0,28	1,44	94,07
2			0,76	0,79	0,17	0,17	98,11
3			4,08	1,67	0,47	0,38	93,41
4		1,15	7,26	3,13	1,50	16,70	70,27
5	1,3	0,77	2,49	2,74	0,57	6,16	85,97
Valor medio	0,26	0,38	3,26	2,17	0,60	4,97	88,37

Tabla V. Elementos (% peso) presentes en la chapa, analizados mediante EDS.

En la sección transversal de la chapa, se aprecian láminas degradadas intercaladas con otros tipos de láminas (fig. 11). El análisis químico por EDS de los puntos señalados indica que están formadas por una masa de óxidos de hierro con pequeños cristales de hierro casi puro (tabla VI).

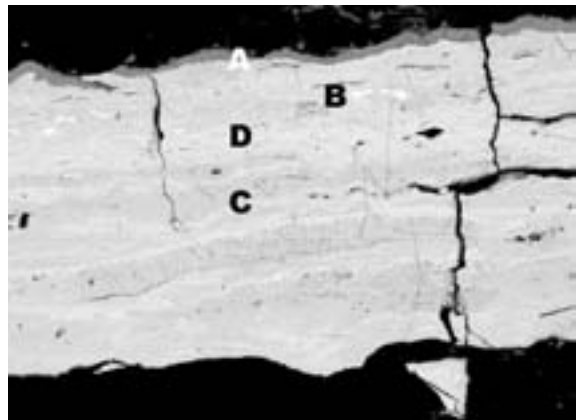


Fig. 11. Imagen de MEB en la sección transversal.

Análisis	O	Mg	Si	P	Ca	Fe
A	71,44	2,11		0,30	26,15	
B	9,39					90,61
C	53,73		0,55			45,72
D	44,03					55,97

Tabla VI. Análisis de las diferentes fases señaladas en la figura 11.

Corte	HV <sub>1</sub> Extremos	HV <sub>1</sub> Centro
Longitudinal	866,8	388,5
	665,5	315,2
Transversal	476,1	324,1
	533,0	315,6

Tabla VII. Valores de microdureza Vickers.

### Dureza Vickers

Los valores de microdureza Vickers en la muestra longitudinal y transversal presentan valores muy dispares entre los extremos y zonas centrales de la chapa (tabla VII).

### Clavo

#### MO

Es una pieza que fue hallada en la Cata de Alain, identificada como 1B.004.UE, Barchin2000. Consta de cuatro pedazos, de los cuales se eligen dos: una punta y una curva (figs. 12 y 13).

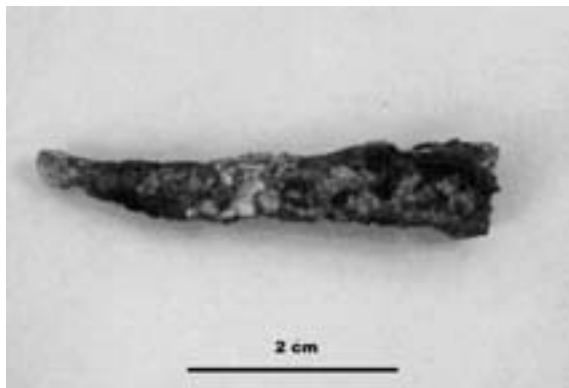


Fig. 12. Macrografía de la punta del clavo.



Fig. 13. Macrografía de la curva del clavo.

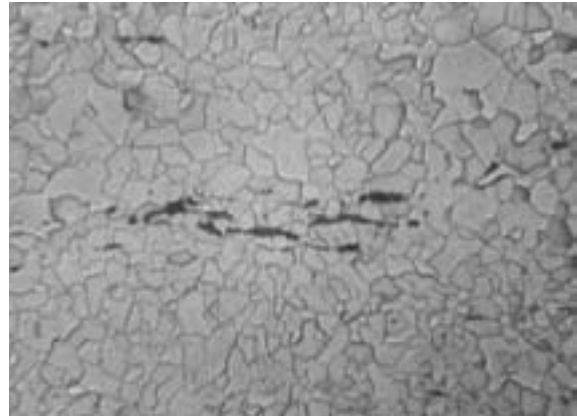


Fig. 14. Matriz ferrítica (X 300).



Fig. 15. Detalle de microestructura de alto contenido en carbono (X 300).

La zona de punta, mediante MO, muestra la existencia de dos microestructuras de diferente naturaleza; una de matriz ferrítica (fig. 14) y otra de naturaleza ferrítico-perlítica (fig. 15).

#### MEB + EDS

Las escorias de esta zona (fig. 16) están formadas por óxido de hierro sobre una masa vítrea de silicatos (tabla VIII).

Análisis	O	Na	Mg	Al	Si	P	Ca	Mn	Fe
A	27,62		0,31	0,25	0,07				71,76
B	34,00	0,29	0,69	0,61	7,38	0,25	6,57	0,28	49,94

Tabla VIII. Identificación de las fases presentes en la figura 16.

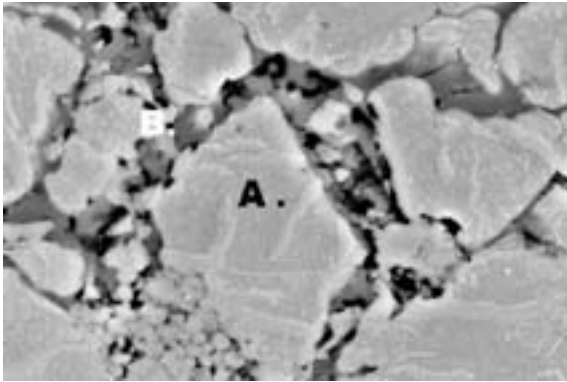


Fig. 16. Microestructura de la escoria (X 3700).

**Dureza Vickers**

Los valores de dureza que presenta la pieza en la zona de punta con microestructura ferrítica son de 76 HV (tabla IX).

Microestructura	HV Punta	HV Curva
Ferrítica	81,6 73,6 72,9	120,2
Perlítica	—	161,3 174
Ferrítico-perlítica	—	137 139,5 139,5

Tabla IX. Valores de microdureza Vickers.

Por el contrario, en la zona curva externa con microestructura ferrítico-perlítica, los valores de dureza están en 138,7 HV, los perlíticos en 167,7 HV y los ferríticos en 120,2 HV.

**CONCLUSIONES**

La muestra de mineral estudiada es una arenisca, pues está formada por granos de cuarzo de forma redondeada, de tamaño aproximadamente de 600 mm y una masa cementante de sílice y hematites que proporciona el color rojo. El análisis cuantitativo de la muestra mineral, por FRX y EDS, indica que los elementos mayoritarios son silicio, hierro y aluminio.

El contenido de hierro en la escoria esponjosa, en porcentaje en peso, es de 42, mientras que el de silicio es de 36. Pueden existir óxidos de hierro y diferentes silicatos de hierro con otros elementos, lo que hace pensar que puede tratarse de un conjunto de óxidos desprendidos durante el proceso de martillado de la pella o batida.

El contenido de hierro, en porcentaje en peso, es de 88 en el caso de la chapa. Presenta además hierro puro, diferentes óxidos de hierro, de calcio, de aluminio y de silicio y silicatos de calcio y de hierro. El alto contenido de hierro que presenta parece indicar que se trata de un subproducto terminado y posiblemente preparado para hacer un útil o herramienta.

El clavo presenta, en las zonas externas, una microestructura de alto contenido en carbono, llegando a alcanzar un 0,7 ó 0,8% C. Por el contrario, en el interior, presenta una microestructura de muy bajo contenido en carbono. Este hecho pudo ser debida a dos circunstancias:

A la unión de tres láminas (sándwich) de hierro de distinto contenido en carbono, dos de ellas más aceradas en los extremos y la central de bajo contenido en carbono.

A la cementación de la pieza, bien sea de forma intencionada o bien sea por descuido.

**AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento al proyecto de investigación que ha sido realizado con la financiación de la Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Resolución 18/04/2001 de la Dirección General de Bienes y Actividades Culturales, por la que se hace pública la relación de ayudas adjudicadas por las delegaciones provinciales de Cultura, en virtud de la Orden 26/12/2000, de ayudas para la investigación y difusión del patrimonio histórico de Castilla-La Mancha, publicado en el *DOCM* número 53, de 04-05-2001, páginas 5422 y 5423 y anexo 1.

**BIBLIOGRAFÍA**

ARANA, R., *et alii* (1993). *Metalurgia en la Península Ibérica durante el primer milenio a. C.* Ed. de los autores.

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN Y CULTURA (coord.) (1995). *El mundo ibérico: una nueva imagen en los albores del año 2000.* Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Toledo.

CURBERA, J. B.; SIERRA DELAGE, M., y VELÁZQUEZ, I. (1999). A bilingual curse tablet from Barchín del Hoyo (Cuenca, Spain). *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*. Band 125. Bonn.

GÓMEZ DE SALAZAR, J. M., *et alii* (2000). Evaluación microestructural mediante MEB de útiles de hie-

- ro de la época romana. *XIX Bienal de la SEME*. Murcia.
- GÓMEZ RAMOS, P. (1996). Análisis de escorias férreas: nuevas aportaciones al conocimiento de la siderurgia prerromana en España. *Trabajos de Prehistoria* 53 (2). Madrid.
- MOHEN, J. P. (1992). *Metalurgia prehistórica*. Masson. Barcelona.
- ROVIRA, S. (2000). Continuum e innovación de la metalurgia ibérica. *III Reunión Economía Mundo Ibérico: estado actual de la investigación. Saguntum PE3*. Universidad de Murcia.
- SIERRA DELAGE, M. (1998). Metalurgia. *Actas de las I Jornadas de Patrimonio*. Diputación de Cuenca.
- SIERRA DELAGE, M. (2001). El yacimiento ibérico de Fuente de la Mota. Área de Cultura. Diputación de Cuenca.
- SIERRA DELAGE, M., *et alii* (1981). Fuente de la Mota, Barchín del Hoyo, Cuenca. *Noticiario Arqueológico Hispánico II*. Ministerio de Cultura. Madrid.
- SIERRA DELAGE, M., y KERMORVANT, A. (1988). *Prospecciones geofísicas en Barchín del Hoyo*. Melanges de la Casa de Velázquez. Madrid.
- TYLECOTE, R. F. (1987). *The early history of metallurgy in Europe*. Longman. Londres / Nueva York.