

Estudio arqueometalúrgico de un hacha de hierro encontrada en la villa de “La Olmeda”, Palencia, España^(*)

José María Gómez de Salazar* y Alicia Soria*

- Resumen** En el presente trabajo se estudia un hacha de naturaleza férrea y que forma parte de los numerosos hallazgos encontrados en una villa situada en la provincia de Palencia conocida como “La Olmeda”, que ha sido datada entre los siglos I y V dC. Esta pieza ha sido caracterizada microestructuralmente mediante microscopía óptica y electrónica de barrido analítico, así como difracción de rayos X. También ha sido caracterizada mecánicamente mediante análisis de dureza Vickers. Con los resultados obtenidos se ha podido conocer la tecnología metalúrgica utilizada en la fabricación de hachas de hierro de época romana en la provincia de Palencia.
- Palabras clave** Arqueometalurgia. Hierro. Forja. Caracterización microestructural. Época romana.

Archaeometallurgical study on a Roman iron axe from “La Olmeda” (Palencia, Spain)

- Abstract** The present work shows an iron axe from I to V AD centuries. This piece belongs to an archaeological site from “La Olmeda” (Palencia, Spain) where several iron artifacts were found. The metallurgical characterisation of ancient iron axe was performed using optical microscopy, SEM-EDX, XRD and hardness test. The data obtained show the fabrication procedure and the technological knowledge of the roman society in “La Olmeda” site.
- Keywords** Archaeometallurgy. Iron. Forging. Microstructural characterisation. Roman Era.

1. INTRODUCCIÓN

Si nos situamos en la época romana la metalurgia estaba muy desarrollada, así como la especialización en el trabajo u oficios^[1-3]. La extracción del mineral se realizaba en minas subterráneas, aunque se conocen algunas explotaciones mineras a cielo abierto. Para ello, se tenían conocimientos de circulación de agua, de circulación y ventilación de humos, así como de instrumentos de trabajo como martillos, cuñas, cinceles, etc.^[4-5].

La fusión y reducción del mineral se realizaba en pequeños hornos en los que se introducía el mineral, la madera y arena, de manera que se daba una fusión y reducción parcial del mineral, y se obtenía una pella, que era llevada a un proceso de batida mediante el cual se conseguían reunir las pequeñas gotas de hierro en un bloque o tocho, al que posteriormente se le daría la forma definitiva^[6-9].

Las tecnologías de elaboración de objetos metálicos llevadas a cabo en la época romana nos ayuda a comprender la base y evolución que han tenido estas tecnologías hasta llegar a las nuestras.

Para realizar este tipo de investigación hay que tener en cuenta el marco tecnológico de la época romana, el marco geológico en el cual se ubica el yacimiento y el marco histórico de España.

La villa de La Olmeda está situada en la hoja número 197 del mapa geológico de España, Carrión de los Condes^[10].

Esta hoja se sitúa en la parte septentrional de la cuenca del Duero, submeseta septentrional de Castilla la Vieja, perteneciendo en su totalidad a la provincia de Palencia, al norte de su capital.

Se caracteriza por un suelo con presencia de fangos carbonatados y arcillas, con valores de pH entre 7,3 y 8,7.

(*) Trabajo recibido el día 27 de diciembre de 1999 y aceptado en su forma final el 10 de febrero de 2000.

(*) Dpto. de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid (España). E-mail: gsalazar@eucmax.sim.ucm.es / asoria@eucmax.sim.ucm.es

La villa se encuentra situada en una llanura en la margen derecha del río Carrión, al oeste de la carretera general que une Palencia y Saldaña, cerca del pueblo de Gañinas^[11].

Esta villa fue excavada cuando apareció una cama de bocado en los trabajos de explanación, realizados por D. Javier Cortes, en una parcela conocida por La Olmeda, hacia el año 1968.

El edificio de la villa es rectangular y simétrico con relación a un eje norte-sur (Fig. 1), centrado en un patio rectangular rodeado de cuatro galerías con mosaicos. Estos últimos son el mayor atractivo de la villa junto a los hallazgos de materiales de su utillaje doméstico (metal, vidrio, cerámica)^[12].

La moneda hallada indica que la primera villa debió edificarse en la primera mitad del siglo I dC, y debió ser habitada hasta finales del siglo III dC, hacia el año 275, fecha de su destrucción. La nueva casa se construye hacia el segundo cuarto del siglo IV dC, y se tiene certeza de su pervivencia durante todo el siglo V dC, y no se sabe en qué momento fue destruida y abandonada^[13].

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental seguido consiste en una consolidación previa de la pieza, con metacrilato diluido en tolueno para evitar la pérdida de pátinas y óxidos^[14]. Anteriormente, se recogieron unas muestras de estas pátinas para su análisis por difracción de rayos X^[15-18].

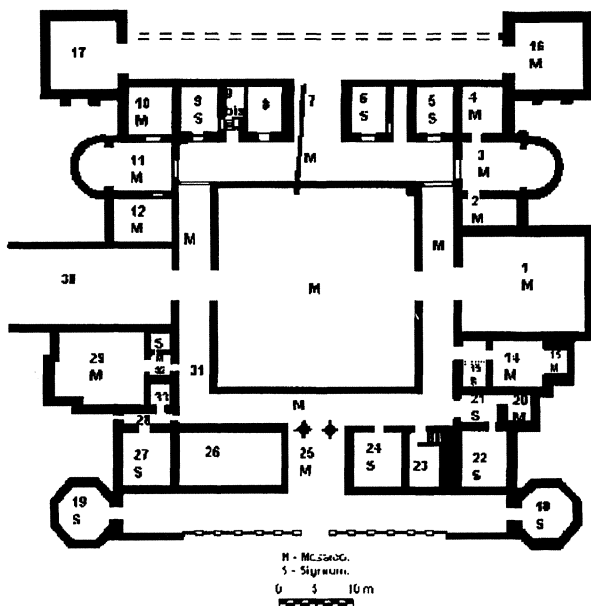


Figura 1. Plano de La Olmeda.

Figure 1. La Olmeda's map.

Rev. Metal. Madrid 36 (2000)

La caracterización microestructural se realizó tanto por técnicas de microscopía óptica como electrónica de barrido. Para ello, se utilizaron técnicas convencionales de preparación metalográfica, donde el ataque metalográfico se realizó con Nital al 2 %.

El estudio microestructural mediante microscopía óptica se realizó en un banco metalográfico de la marca Reichert MeF3 A, mientras que en microscopía electrónica de barrido se utilizó un microscopio Jeol JSM- 35 C, con un EDX Kevex 7077. Se realizó también una caracterización mecánica de la pieza utilizando técnicas de medida de dureza con un equipo Akashi AKK-AII.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización

La pieza (Fig. 2) se encontró en la villa de "La Olmeda" en el ala oeste, habitación 9-2. Su estado de conservación era bueno aunque algunas pátinas y/u óxidos se habían desprendido. Por esto, se recogieron unas muestras para realizar un estudio de su composición.

Este hacha se reconoció dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas, ya que se supuso que su utilidad estaba relacionada con la tala o corte de madera que sería necesario en la vida cotidiana de esta villa.

Se trata de una pieza (Fig. 3) con forma de hacha en la cual se distingue un extremo más grueso, que es la zona donde se ubicaría el posible orificio de empuñadura, y otro más fino, que corresponde al filo del hacha.

Las dimensiones que presentó el hacha son las que se muestran en la tabla I.

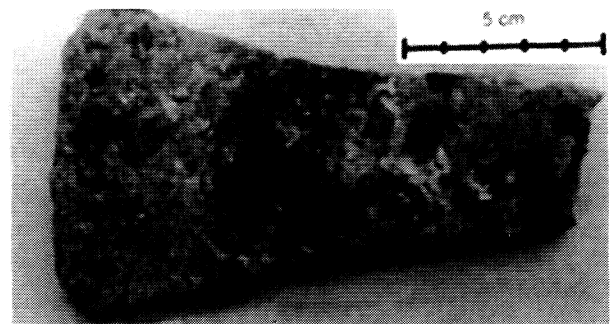


Figura 2. Macrografía del hacha.

Figure 2. Axe macrography.

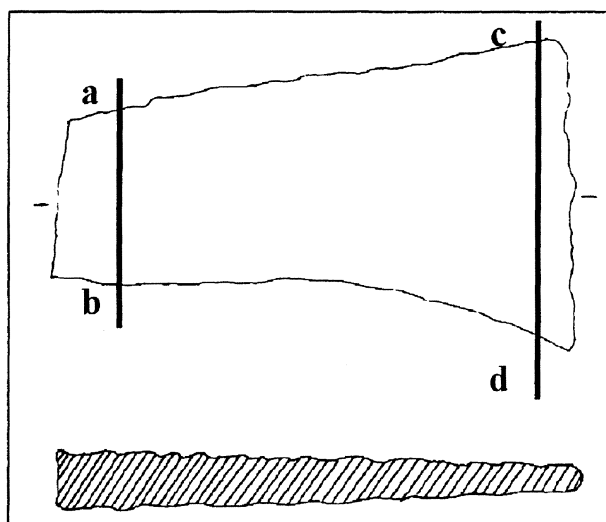


Figura 3. Dimensionado del hacha.

Figure 3. Axe dimensions.

Tabla I. Dimensiones del hacha (mm)

Table I. Axe dimensions (mm)

Longitud	Filo		Enmangue	
	Anchura	Grosor	Anchura	Grosor
127,81	78,31	6,35	38,2	16,31

3.2. Estudio de tierras y pátinas

En el difractograma de las tierras, óxidos y pátinas que se habían desprendido de la pieza, antes de su

consolidación, se identificó la presencia de cuarzo además de óxidos de hierro como la magnetita y el óxido de hierro ϵ , según se muestra en la tabla II.

En el difractograma de las tierras y óxidos que habían quedado adheridas a la pieza se identificó la presencia de cuarzo, hierro y lepidocrocita, según se muestra en la tabla III.

La presencia de cuarzo en ambos difractogramas se puede explicar si entendemos que es un mineral presente en el marco geológico donde está ubicado el yacimiento, y que cuando la pieza fue consolidada no hubo una limpieza previa de tierra.

3.3. Estudio microestructural

Mediante microscopía óptica se estudiaron dos zonas de la pieza (Fig. 3), la zona de enmangue (ab) y la zona de filo (cd).

En la zona de enmangue (Fig. 4) se observaron hasta dos microestructuras distintas. Una a ambos lados del hacha, de matriz ferrítica con cementita precipitada en su límite de grano (Fig. 5), y otra central, de microestructura perlítica (Fig. 6). Las zonas de transición entre estas dos microestructuras se caracterizan por la presencia de numerosas escorias dispuestas longitudinalmente a la pieza (Fig. 7). El análisis EDS de estas escorias (Fig. 8) indica que están formadas por hierro, magnesio, aluminio y silicio.

En la zona de filo (Fig. 9), la microestructura es de ferrita deformada con cementita precipitada en

Tabla II. Identificación de las líneas del difractograma de tierras y óxidos desprendidos antes de la etapa de consolidación

Table II. Identification of X-ray diffractograma lines to oxides and soil before consolidate stage

Nombre	Fórmula	S. crist	Espaciado	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	2 θ	Núm. ficha	<i>I</i> _{rel} (%)
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	3.345	1	0	1	26.660	5-490	31
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	2.449	1	1	0	36.700	5-490	10
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	2.295	1	0	2	39.200	5-490	20
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.645	1	0	3	55.920	5-490	23
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.449	1	1	3	64.300	5-490	12
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.383	2	1	2	67.795	5-490	16
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.283	1	0	4	73.890	5-490	10
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Cúbico	2.106	4	0	0	42.955	11-614	20
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Cúbico	1.719	4	2	2	53.320	11-614	10
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Cúbico	1.619	5	1	1	56.875	11-614	31
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Cúbico	1.488	4	4	0	62.420	11-614	57
Óxido de hierro	ϵ -Fe ₂ O ₃	*	2.972	-	-	-	30.080	16-895	11
Óxido de hierro	ϵ -Fe ₂ O ₃	*	2.552	-	-	-	35.180	16-895	100
Óxido de hierro	ϵ -Fe ₂ O ₃	*	1.952	-	-	-	46.555	16-895	15
Óxido de hierro	ϵ -Fe ₂ O ₃	*	1.517	-	-	-	61.115	16-895	43

(*) La ficha número 16-895 no presenta sistemas cristalinos.

Tabla III. Identificación de las líneas del difractograma de las tierras y óxidos adheridos a la pieza después de la etapa de consolidación.*Table III. Identification of X-ray diffractogram lines to oxides and soil after consolidate stage.*

Nombre	Fórmula	S. crist	Espaciado	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	2θ	Núm.	<i>I</i> _{rel} (%)
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	4.280	1	0	0	20.760	5-490	8
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	3.343	1	1	1	26.680	5-490	100
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.817	1	2	2	50.225	5-490	6
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.543	2	1	1	59.985	5-490	3
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.374	2	3	3	68.285	5-490	4
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.199	2	3	3	80.090	5-490	3
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.185	1	4	4	81.185	5-490	6
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.152	3	1	1	84.100	5-490	2
Cuarzo	SiO ₂	Tetragonal	1.122	3	3	3	86.815	5-490	2
Hierro	Fe	Cúbico	2.026	1	0	0	44.740	3-1050	31
Lepidocrocita	FeO(OH)	Ortorrómbico	2.088	0	0	0	43.350	8-98	3
Lepidocrocita	FeO(OH)	Ortorrómbico	1.732	1	1	1	52.900	8-98	2
Lepidocrocita	FeO(OH)	Ortorrómbico	1.214	2	1	1	78.895	8-98	2

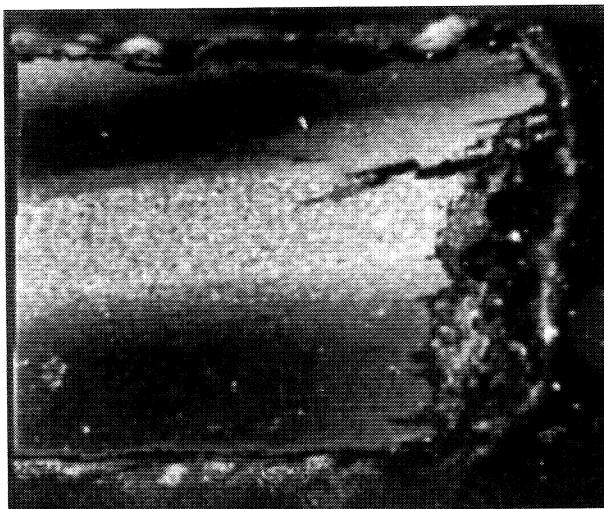
**Figura 4.** Macrografía del hacha en su zona de empuñe.

Figure 4. Handle zone macrography of the axe.

el límite de grano (Fig. 10). Se pueden diferenciar varias microestructuras porque poseen distintos tamaños de grano (Figs. 11-13).

Un hecho interesante, que se observa macroscópicamente (Fig. 9), es cómo una lámina ferrítica ha sido plegada sobre sí misma para darle forma al filo, aunque no sería erróneo pensar que el propietario de esta pieza, en algún momento de su utilización la melló y, posteriormente, la tuvo que afilar mediante forja en frío.

Mediante microscopía electrónica de barrido se comprobaron las microestructuras observadas por microscopía óptica.

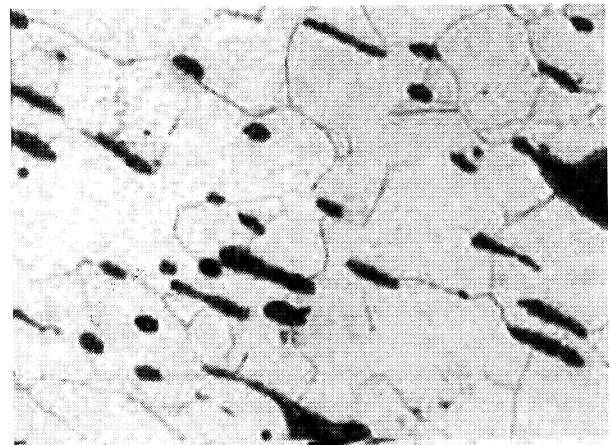
**Figura 5.** Microestructura ferrítica presente a ambos lados de la zona de empuñe del hacha (x 375).

Figure 5. Ferritic microstructure showed to handle zone. Edge zone of the axe (375x).

En la zona de empuñe se observó la microestructura de matriz ferrítica (Fig. 14) y la de acero eutectoide perlítica (Fig. 15).

En las zonas más internas del filo aparece una estructura ferrítico-bainítica (Fig. 16). Sin embargo en las zonas más externas se observa una microestructura muy deformada de tipo laminar constituida por ferrita y perlita (Fig. 17).

3.4. Estudio de propiedades mecánicas

Los valores de medidas de dureza en una sección longitudinal (Fig. 18) permite observar una



Figura 6. Microestructura perlítica presente en el centro de la zona de empuñadura del hacha (x 375).

Figure 6. Pearlitic microstructure showed to handle zone. Middle zone of the axe (375x).

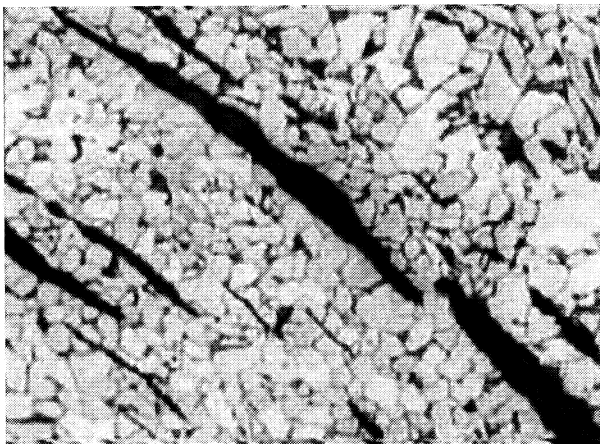


Figura 7. Microestructura ferrítica presente en las zonas de transición entre las microestructuras ferrítica y perlítica de la zona de empuñadura del hacha (x 375).

Figure 7. Ferritic microstructure showed to handle zone. Transition zone, between ferritic and pearlitic microstructures of the axe (375x).

disminución general del valor de dureza al alejarnos de la zona de empuñadura y acercarnos al filo. Sin embargo, en la zona próxima al filo se observa un incremento del valor de dureza que está de acuerdo con la utilidad de esta pieza.

Es importante resaltar que todas las medidas de dureza realizadas en el eje transversal de la pieza ofrecen resultados homogéneos, comprobando, como tendencia general, el incremento en los valores de dureza del centro respecto a los que posee, esta pieza, en los extremos (Fig. 19).

Los valores de dureza están de acuerdo con las microestructuras obtenidas mediante microscopía óptica, de manera que la ferrita presenta un valor medio de dureza de 120 HV, y la perlita presenta un valor medio de 219 HV.

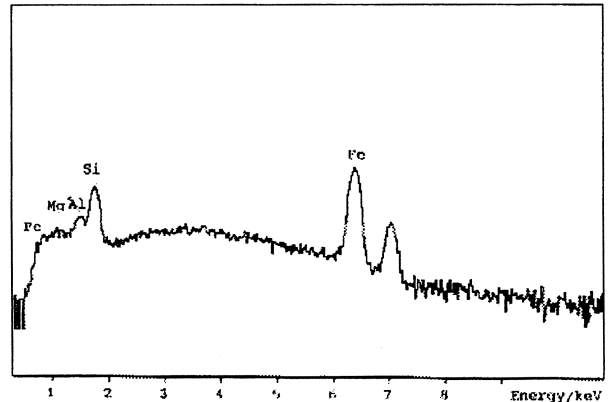


Figura 8. Identificación de las escorias presentes en las zonas de transición de la zona de empuñadura del hacha mediante EDS.

Figure 8. EDX identification of the slags showed to the transition handle zone.

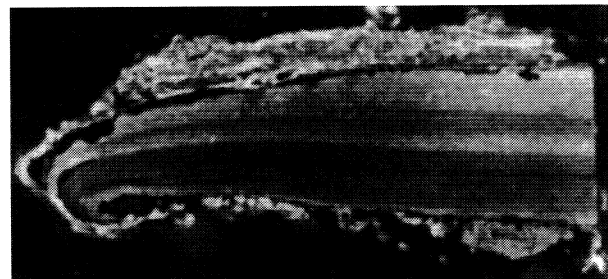


Figura 9. Macrografía del hacha en su zona de filo.

Figure 9. Edge zone macrography of the axe.



Figura 10. Microestructura ferrítica deformada presente en la zona de filo del hacha (x 375).

Figure 10. Deformed ferritic microstructure showed to edge zone of the axe (375x).

En la zona del filo de esta pieza se realizaron medidas de microdureza Vickers en las dos fases de la microestructura presente. La ferrita presentaba valores de 165-172 HV, utilizando 100 g de carga, y la bainita presentaba valores de 424-530

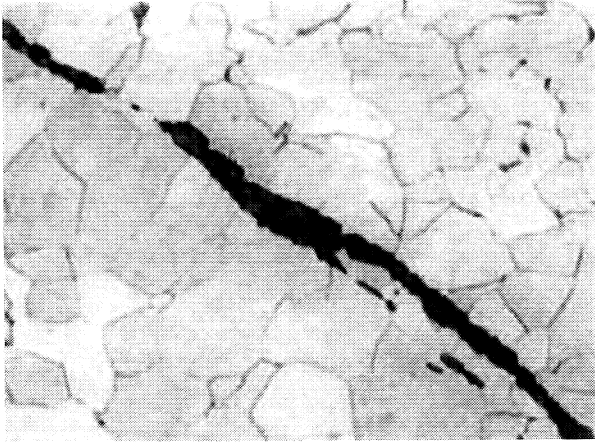


Figura 11. Microestructura ferrítica presente en la zona de filo del hacha (x 375).

Figure 11. Ferritic microstructure showed to edge zone of the axe (375x).

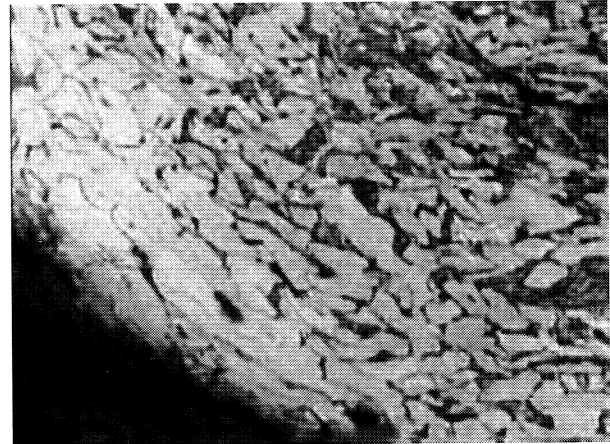


Figura 13. Microestructura ferrítica deformada presente en la zona de filo del hacha (x 375).

Figure 13. Deformed ferritic microstructure showed to edge zone of the axe (375x).

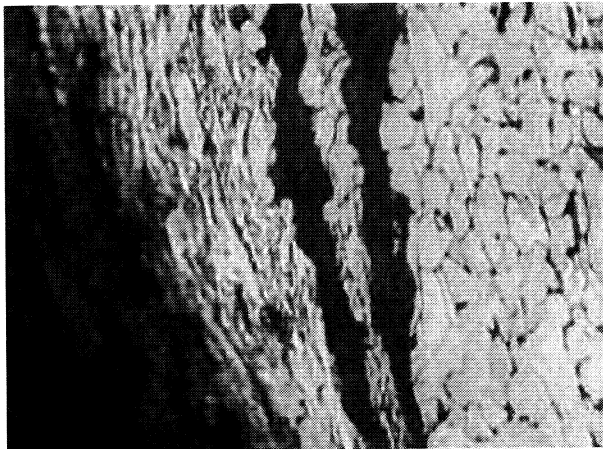


Figura 12. Microestructura ferrítica deformada presente en las zonas más externas del filo del hacha (x 375).

Figure 12. Deformed ferritic microstructure showed to more external zones. Edge zone of the axe (375x).

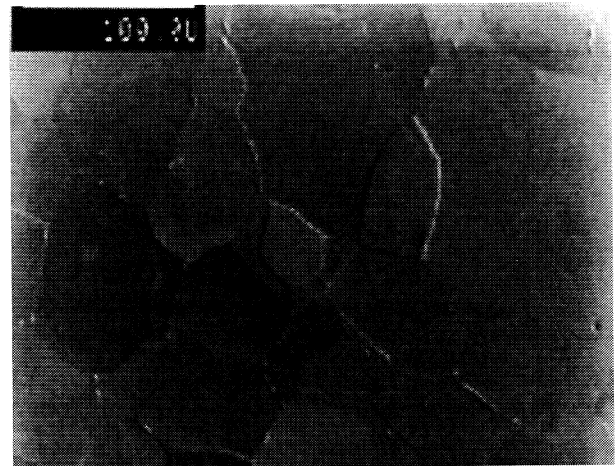


Figura 14. Detalle de microestructura ferrítica presente a ambos lados de la zona de empuñadura del hacha.

Figure 14. Detail of ferrite showed to handle zone. Edge zone of the axe.

HV, en las mismas condiciones de ensayo. Estas medidas nos indican que la bainita presente en la microestructura ferrítico-bainítica es una bainita superior.

4. CONCLUSIONES

- La microestructura de la zona de empuñadura del hacha es tipo sándwich con cementita precipitada en límite de grano ferrítico en las zonas externas y perlítica en la zona interna.
- La microestructura del filo es de ferrita con grano deformado y cementita precipitada en el límite de grano ferrítico.
- Los menores contenidos en carbono de las zo-

nas externas sugieren que durante la ejecución de los recocidos y forjados posteriores para su mantenimiento en el periodo de vida se produjeron procesos de descarburación, que dieron lugar a las microestructuras observadas.

- Las pátinas o productos de alteración de esta pieza durante su enterramiento, están formados por óxidos de hierro como la magnetita y el óxido de hierro ϵ , además de oxi-hidróxidos de hierro como la lepidocrocita.
- A partir de los estudios realizados se sugiere un esquema del método de fabricación (Fig. 20) utilizado por los metalúrgicos romanos. Consistiría en la unión mediante calor y martillado de tres barras de hierro, con disposición tipo sándwich, dos de bajo contenido en carbono en las

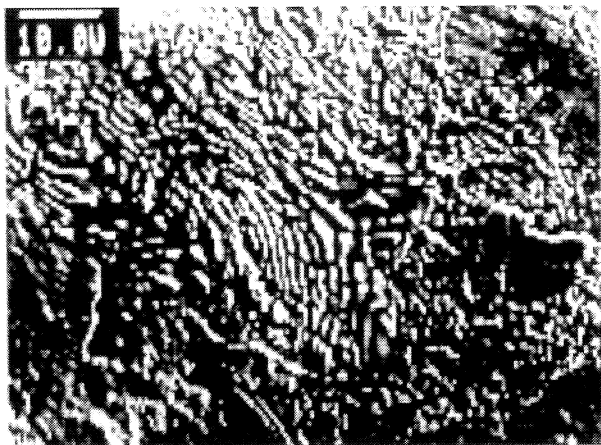


Figura 15. Detalle de microestructura perlítica eutectoide presente en el centro de la zona de empuñadura del hacha.

Figure 15. Detail of eutectoid pearlite showed to handle zone. Middle zone of the axe.

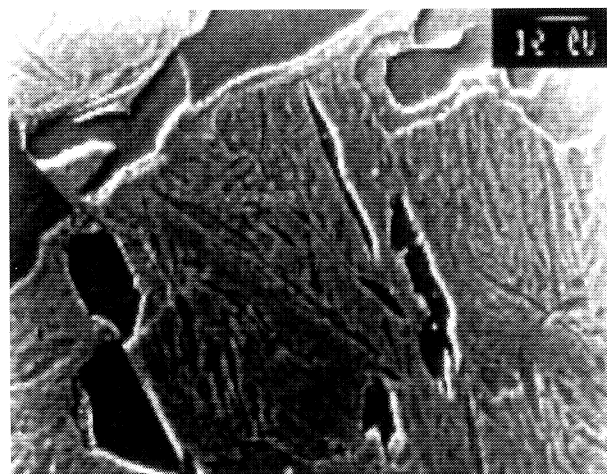


Figura 16. Detalle de la microestructura ferrítico-bainítica presente en la zona de filo del hacha.

Figure 16. Detail of ferrite-bainite showed to edge zone of the axe.

zonas externas de la pieza, y otra de mayor contenido en carbono en la zona central de la misma (Fig. 20a). Posteriormente, se procedería a la soldadura de las barras mediante forja y a la conformación de la preforma del hacha mediante martillado (Fig. 20b). Finalmente, el filo se obtendría por deformación en frío y su afilado posterior (Fig. 20c).

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Museo de América por los medios puestos a mi alcance para el desarrollo del presente trabajo de investigación

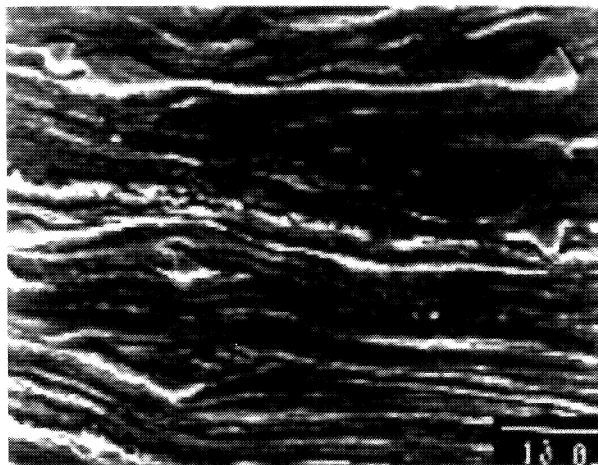


Figura 17. Detalle de microestructura ferrítico-bainítica muy deformada presente en la zona de filo del hacha.

Figure 17. Detail of deformed ferrite-bainite showed to edge zone of the axe.

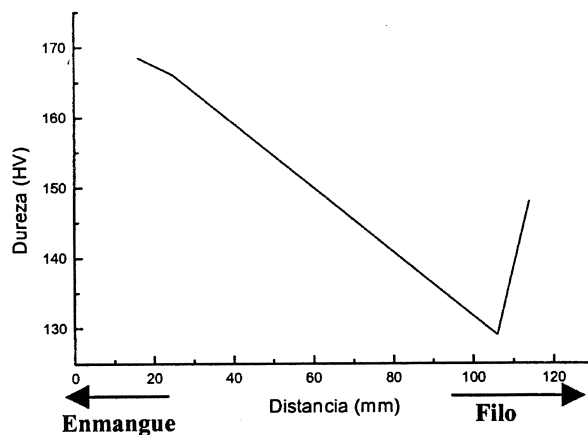


Figura 18. Perfil de dureza (HV) en la sección longitudinal del hacha.

Figure 18. Hardness values vs. distance to a longitudinal section of the axe.

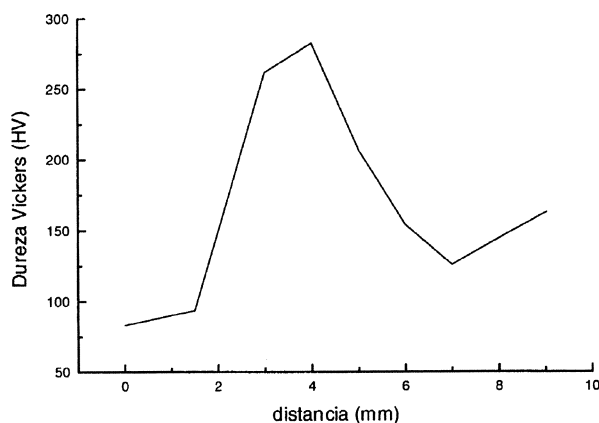


Figura 19. Perfil de dureza (HV) en la sección transversal del hacha.

Figure 19. Hardness values vs. distance to a cross-section of the axe.

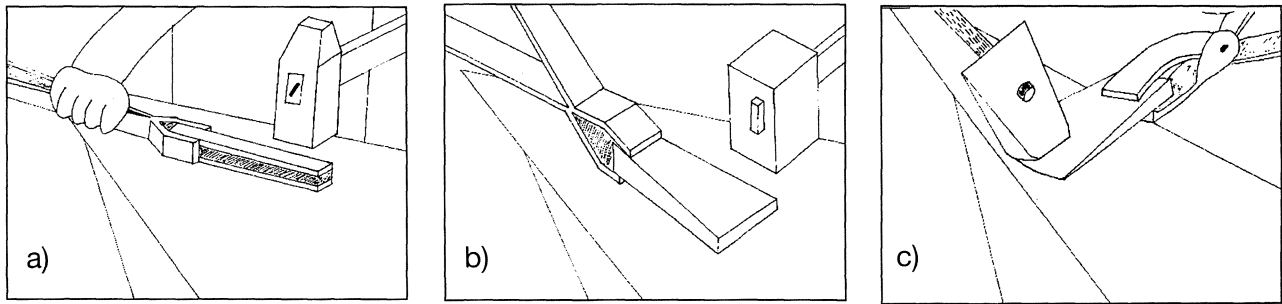


Figura 20. Método de fabricación del hacha.

- a) Unión mediante forja de tres barras de hierro de distinto contenido de carbono.
 b) Conformación mediante forja del hacha.
 c) Afilado del hacha.

Figure 20. Axe fabrication procedure.

- a) Forge of three iron bars. The bars had different carbon levels.
 b) Axe conformation by forge.
 c) Axe sharpening.

REFERENCIAS

- [1] A. CANSECO, *Historia de la enseñanza de la minería. Arqueología e historia de la minería y metalurgia*. Ed. Museo Histórico Minero Don Felipe de Borbón y Grecia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Madrid. 1996: 11-25.
- [2] R.F. TYLECOTE, *The early history of metallurgy in Europe*. Ed. Longman. London (Inglaterra) 1987.
- [3] F. FERNÁNDEZ GÓMEZ, *Museum*, Junio (1982) 71-73.
- [4] J. CAVALHEIRO, *Arqueología*, 19 (1989) 124-132.
- [5] M. MANGIN y W. BIRKE, *Actas del Coloquio Internacional de Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas*. Vol. I. Madrid, 1989, pp. 119-135.
- [6] R. PLEINER, *Actas del Coloquio Internacional de Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas*. Vol. I. Madrid, 1989, pp. 137-140.
- [7] D. KILLICK, *JOM*, Abril (1991) 62-64.
- [8] R.F. TYLECOTE, *Furnaces, crucibles and slags. The coming of the Age of Iron*. Ed. New Haven and London Yale University Press, 1980, 208-221.
- [9] I. KEESMANN, N.G. NIEMEYER, CHR. BRIESE, F. GOLSCHANI y B. SCHULZ-DOBRICK, *Actas del Coloquio Internacional de Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas*. Vol. I. Madrid, 1989, pp. 99-108.
- [10] *Mapa Geológico de España*; 1:50.000; 197 (16-10). *Carrión de los Condes*. Ed. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía, 1982.
- [11] P. PALOL, *La Villa romana de La Olmeda de Pedrosa de la Vega (Palencia)*. Ed. Excma. Diputación Provincial de Palencia, 1993, pp. 17-60.
- [12] J.M. BLÁZQUEZ, *Actas del Coloquio Internacional del I Congreso de Historia de Palencia. Arte, Arqueología y Edad Antigua*. Castillo de Monzón de Campos. Palencia. Tomo I. 1985, pp. 361-379.
- [13] J. CORTES, *La necrópolis de La Olmeda*. Ed. Departamento de Cultura. de la Diputación Provincial. Palencia, 1990.
- [14] W. MOUREY, *Proc. of the LCRRA, Draguignann (Francia)*, C. Fernández Ibañez (Ed.), 1987, pp. 307-308.
- [15] M.A. GARCÍA GUINEA y R. RINCÓN, *Estudio de muestras de hierro encontradas en Celada Marlantes*. Apéndice al libro de M.A. García Guinea y R. Rincón *El Castro Cántabro de Celada Marlantes (Santander)*. Ed. Institución Cultural de Cantabria. Santander, 1970, pp. 37-43.
- [16] H. MAIA e COSTA, *Trabalhos de antropología e etnografía*, XX, 1-2, Porto, 1965/66, pp. 173-180.
- [17] A. MADROÑERO DE LA CAL, *Antigüedad y cristianismo*, 1 (1984) 111-117.
- [18] A.V. RAMESH KUMAR y R. BALASUBRAMANIAM, *Corros. Sci.* 40 (1998) 1169-1178.