

# ANÀLISI METALOGRÀFICA D'ELEMENTS FÈRRICS PREROMANS: UNA APROXIMACIÓ ALS MÈTODES SIDERÚRGICS A LA LAIETÀNIA<sup>1</sup>

JORDI AULADELL I MARQUÈS

*Dept. de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona*

JÚLIA SIMON I ARIAS

*Dept. Ciència dels Materials i Eng. Metal·lúrgica, Universitat Politècnica de Catalunya*

## RESUM

Emprant materials cronològicament ben datats en període Ibèric Ple i localitzats a la Laietània, es procedeix a realitzar anàlisis metalogràfiques per identificar les tècniques de treball i el nivell tecnològic assolit en la seva fabricació. Els resultats permeten apreciar un avançat coneixement siderúrgic en la confecció del conjunt fèrric del carro de Montjuïc, des del moment inicial d'obtenció de la barra o "lingot" original fins, i principalment, en els posteriors treballs de conformació, on s'utilitzen diverses tècniques de tractament tèrmic i mecànic.

## PARAULES CLAU

Íber, àrea laietana, ferro, siderúrgia, metalografia.

## ABSTRACT

The metallography analysis to identify the working techniques and the technological level obtained in the manufacture was carried out by using materials well dated chronologically in the Iberian Period and located in Laietan area. The results prove a siderurgy advanced knowledge in the manufacture of the iron cart of Montjuïc mountain from the inicial moment of the obtention of the currency bar to, and mainly, the posterior conformation works which used different thermic and mechanical treatment techniques in.

## KEY WORDS

Iberic, Laietan area, iron, siderurgy, metallography.

## INTRODUCCIÓ

A partir de mitjans del darrer mil·leni a.C. es produeixen al nord-est peninsular diversos canvis econòmics i tecnològics que modifiquen l'evolució de la societat autòctona; possiblement, el factor més

significatiu, motor d'una nova revolució tècnica i productiva, fou la generalització del ferro com a material d'aplicació a les necessitats pràctiques. Aquest nou coneixement depèn, principalment, d'un procés vinculat al grau de contacte amb les influències comercials mediterrànies, les quals protagonitzaran la importació dels primers estris de ferro d'utilitat agrícola i industrial i, progressivament, el propi mètode siderúrgic que les fa possibles.

En el present treball, a través principalment de l'examen metalogràfic, disposem de la possibilitat d'identificar els tractaments metal·lúrgics, tèrmics i mecànics, i reflexar, per tant, el procés de treball de confecció del material estudiat, fet que ens portarà

<sup>1</sup> Volem agrair al Sr. J.O. Granados García, Director del Centre d'Arqueologia de la Ciutat, les facilitats donades per l'estudi dels materials.

Alhora, agràim al Dr. J.M. Prado Pozuelo i a la Sra. M. Marsal Astor, del Dept. de Ciència dels Materials i Eng. Metal·lúrgica, la seva col·laboració en els aspectes tècnics i analítics.



FIGURA 1: N.I.M. 2001, fragment de llanta.

un coneixement real sobre el nivell tecnològic assolit en la fabricació concreta d'aquests estris. Els materials objecte d'anàlisi han estat els elements fèrrics del carro de Montjuïc, conjunt perfectament contextualitzat cronològic i funcionalment, del qual s'ha seleccionat amb criteri museogràfic diverses peces representatives pel seu estudi siderúrgic.

## 1. EL CONJUNT MATERIAL: LES RESTES FÈRRIQUES DEL CARRO DE MONTJUÏC

L'excavació de les sitges del Port a Montjuïc<sup>2</sup> permeteren identificar un conjunt singular de materials fèrrics formant part del reompliment dels dipòsits. En el nivell III o inferior d'una d'aquestes sitges varen aparèixer les restes metàl·liques d'un carro, datat segons el context ceràmic de finals s. V-1/2 s. III a.C.<sup>3</sup>; els elements fèrrics, únics con-

<sup>2</sup> Situated at the southern slope of the mountain, along the road of l'Esparver, it concerned a group known since 1928, from the opening of the railway lines of the Magòria, and excavated by J. de C. Serra Ràfols in 1946. Fernández Avilés, A. "El carro ibérico de Montjuich", *A.E.A.* XIX, 1946, pp. 262-263.

<sup>3</sup> Serra Ràfols, J.C. "Notes sobre la indústria del ferro a Catalunya abans de la romanització", *P.L.A.* V.5, 1968, pp. 18-19. Granados García, J.O. "Cerámicas de importación halladas en los silos del Port (Barcelona)", *Helike* I, 1982, p. 178.

servats relatius a l'hipotètic carro, consistien en la llanta o revestiment perimetral complet d'una roda, fragments de la llanta d'una altra roda, els grans claus que les subjectaven a l'estructura massissa interior, alguns reblons, diversos travessers d'engarç i peces de suspensió-subjecció, com llesves i clavilles<sup>4</sup>.

La interpretació d'aquestes troballes ha suggerit una tipologia de carro de dues rodes massisses, d'un diàmetre de 73-77 cm., de tir indeterminat i dedicat al transport de mercaderies, paral·lel a altres models de la Península Ibèrica com el de El Amarejo (Bonete, Albacete) o el de Casares de La Cañada de los Ojos (Guadalaviar, Teruel)<sup>5</sup>. Per altra banda, la seva existència en el context de les sitges del Port implica una relació directa amb l'activitat de l'indret que, aprofitant la desembocadura del Llobregat i la situació estratègica de Montjuïc, funcionava com àrea de bescanvi entre els distribuïdors d'importacions del Mediterrani Oriental, els poblaments autòctons de la costa central i els de l'interior, que hi accedien per via fluvial; en aquest sentit, s'identifiquen les sitges com a instal·lacions portuàries dedi-

<sup>4</sup> Fernández, "El carro ibérico..." *op. cit.*, nota 1, p. 262. Serra Ràfols, "Notes sobre..." *op. cit.*, nota 2, p. 19.

<sup>5</sup> Fernández Miranda, A.-Olmos, R. (1986) *Las ruedas de Toya y el origen del carro en la Península Ibérica*, pp. 81-84.

caades a l'emmagatzament de gra indígena excedentari, producte d'intercanvi amb les manufactures, majoritàriament gregues, restes de les quals acompanyen la presència del carro.

### 1.1. Les peces d'anàlisi

Donada l'homogeneïtat cronològica dels materials fèrrics apareguts a les sitges de la Magòria durant la campanya de 1946, tots ells atribuïts a un carro, s'han seleccionat diverses peces base per efectuar l'extracció i estudi de mostres. Els criteris de selecció d'aquestes peces originals han estat fonamentats en dos aspectes bàsics, el museogràfic i el metalogràfic; la inicial premissa ha considerat la significació del material com a factible objecte museogràfic, el que implica un criteri de singularitat estètica i formal alhora que pedagògica, factors tots ells aliens a l'interès d'un estudi tecnològic com el que es pretén; un cop descartats els objectes d'especial interès museogràfic, a través del criteri metalogràfic s'han seleccionat materials que, per la seva hipotètica funcionalitat, puguin haver rebut tractament metal·lúrgic específic, i que, a més a més, puguin conservar l'ànima original o restes de partícules metàl·liques.

La tria de materials adients pertanyents al carro ha culminat en tres fragments diferents i prou significatius del conjunt.

– N.I.M. 2001: Fragment de llanta (fig. 1).

Es tracta d'una de les peces senceres de l'arc de la llanta que conserva l'amplada íntegra i un dels grans claus de secció quadrangular que la travessaven; dos altres claus travessers mostren la cabota exteriorment i l'arrencament de la tija; un quart clau es despreguà, possiblement a través d'una petita fractura, però conserva el seu forat estructural. Mostra una llargària perimetral de 389 mm. i una amplada de 120 mm., amb el rebló conservat de 132 mm. de llarg i 11 mm. de secció, el qual s'aprima fins acabar en punta piramidal. Les seves característiques morfològiques li permeten ésser adaptada com a recobriment perimetral d'una roda massissa de carro, comprimint i subjectant, gràcies als grans claus per fusta, l'armadura interna, de la qual funcionava com a superfície de contacte i rodament.

– N.I.M. 2002: Fragment de llanta (fig. 2).

Extrem fragmentat d'arc de llanta molt degradat, fracturat per un costat i que no conserva

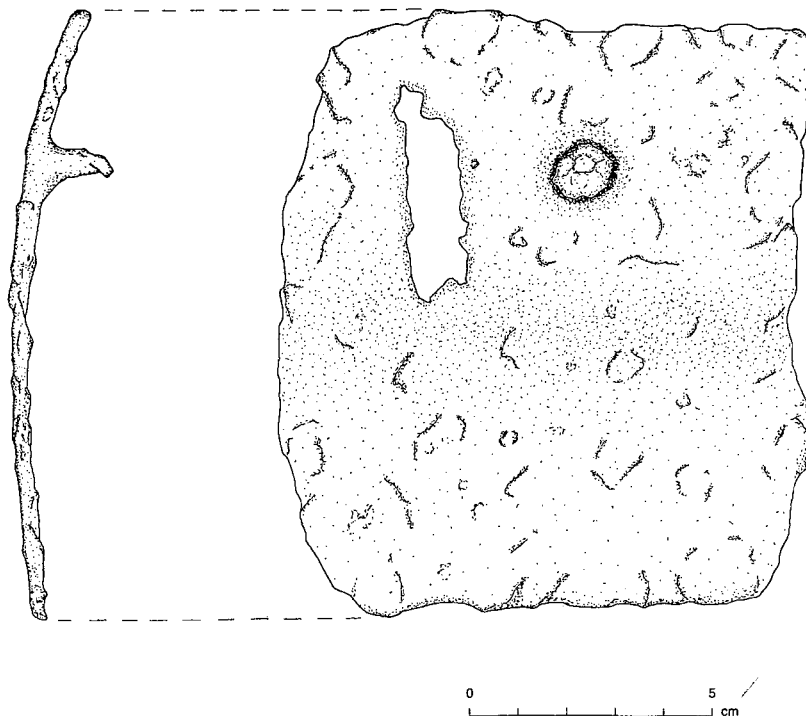


FIGURA 2: N.I.M. 2002., fragment de llanta.

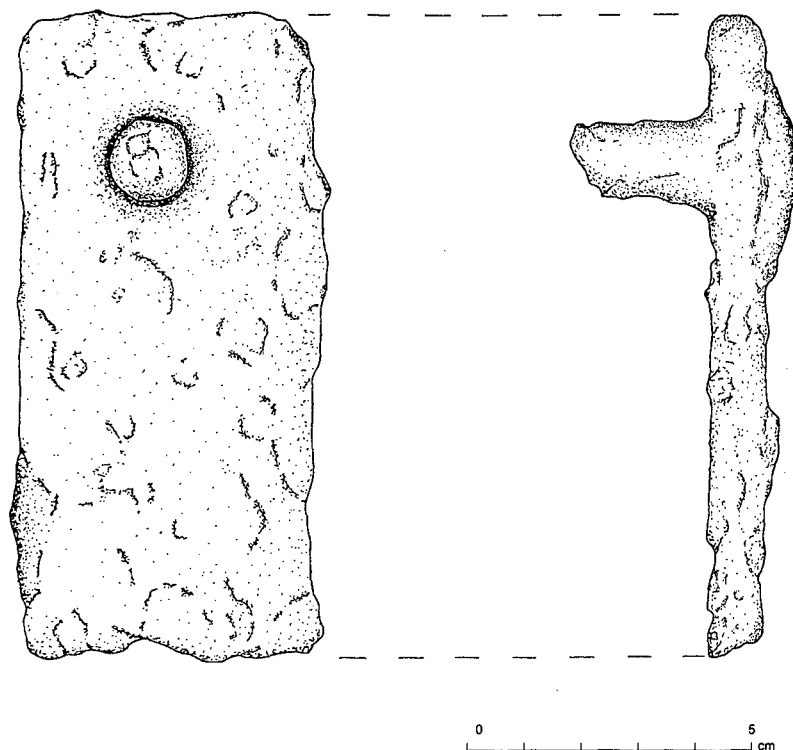


FIGURA 3: N.I.M. 2003, fragment de travesser.

l'amplada original. Presenta la cabota, de relleu allisat exteriorment per evitar el fregament, i l'arrencament de la tija d'un dels claus que l'unien amb la roda massissa, essent impossible determinar la seva secció i llargària. De petita grandària, 123 mm. de perímetre, mostra una amplada irregular de 113 mm. i un gruix heterogeni que, inclús, suposa la presència d'un gran forat proper a l'extrem de la part superior. Funcionava com a recobriment perimetral de la roda trobada en pitjor estat de conservació.

– N.I.M. 2003: Fragment de travesser (fig. 3).

Tira fèrrica estructural fracturada pels dos extrems, de forma rectangular, que presenta un rebló perpendicular de secció circular i cabota hemisfèrica exterior, integrada per la mineralització a la resta de la peça. La tira estructural té una llargària de 114 mm. i 46 mm. d'amplada contínua, mostrant el rebló una secció de 13 mm. i 24 mm. de longitud. La seva funció fou la de travesser, nexa d'unió externa entre diversos cossos els quals, segons l'identificació del seu excava-

dor<sup>6</sup>, podien ser els llistons de fusta que formaven les rodes.

## 2. EXTRACCIÓ I IDENTIFICACIÓ DE LES MOSTRES

Per a la realització i aplicació de les tècniques metalogràfiques i analítiques s'ha extret un reduït nombre de mostres de material específic, suficientment representatiu per identificar les fàcies de treball dutes a terme sobre el conjunt material, en el nostre cas, per mostrar les tècniques i recursos tecnològics dels fabricants dels atuells fèrrics del carro de Montjuïc.

– N.I.M. 2001.

A causa de les característiques singulars de la peça, s'extreu únicament un segment de llargària 1

<sup>6</sup> Serra Ràfols, "Notes sobre..." *op. cit.*, nota 2, p. 19.

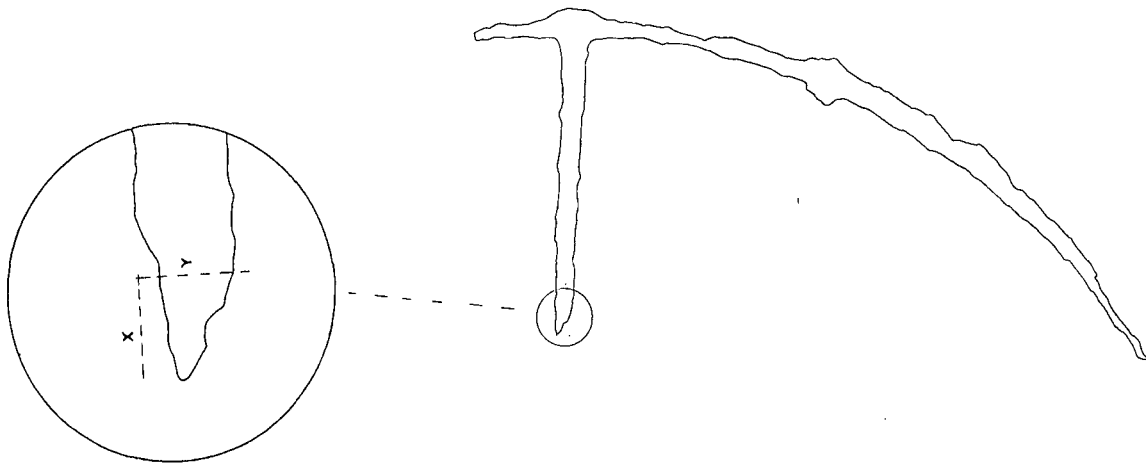


FIGURA 4: Diagrama d'extracció sobre N.I.M. 2001.

cm. corresponent a la punta del gran clau travesser (fig. 4). La fracció estreta es divideix en dues mostres:

- PT/2001/1: tall longitudinal (x).
- PT/2001/2: tall transversal (y).

– N.I.M. 2002.

Peça sotmesa a anàlisi exhaustiva mitjançant l'extracció de quatre segments corresponents a les cantonades de la planxa fèrrica. Les fraccions estretes s'identifiquen amb vuit mostres (fig. 5):

Segment A:

- PT/2002/1: tall transversal (y).
- PT/2002/2: tall longitudinal (x).

Segment B:

- PT/2002/3: tall transversal (y).
- PT/2002/4: tall longitudinal (x).

Segment C:

- PT/2002/5: tall transversal (x).
- PT/2002/6: tall longitudinal (y).

Segment D:

- PT/2002/7: tall transversal (y).
- PT/2002/8: tall longitudinal (x).

– N.I.M. 2003.

Extracció localitzada en dues àrees diferenciades de la peça, la tira fèrrica del cos i el rebló que el travessa. Les fraccions estretes es divideixen en quatre mostres (fig. 6):

Cos:

- PT/2003/1 (A)- PT/2003/2 (B): meitats de secció transversal.

Rebló:

- PT/2003/3: tall transversal (C).
- PT/2003/4: tall longitudinal (D).

### 3. ESTUDI ANALÍTIC

#### 3.1. Mètode experimental

Fonamentalment s'ha sotmès les mostres a tres tipus d'anàlisi física: la metalografia, l'anàlisi de microduresa i la microanàlisi química.

La metalografia consisteix en l'observació i estudi de les microestructures del metall, en el nostre cas el ferro i els seus aliatges, amb la finalitat d'identificar els tractaments tèrmics, mecànics o químics als quals fou sotmès l'objecte-mostra.

La metodologia emprada per l'estudi metalogràfic ha seguit el mètode clàssic d'extracció de mostres representatives i la seva conformació en proveta de treball, el seu progressiu poliment, l'atac amb reactiu àcid i la seva observació microscòpica, inicialment òptica i posteriorment electrònica.

L'anàlisi de microduresa es basa en la comparació del factor pressió-temps/àrea de les diferents microestructures, caracteritzant, en el supòsit dels materials fèrrics, el seu percentatge d'al·leació amb el carboni i la posterior adscripció microestructural.

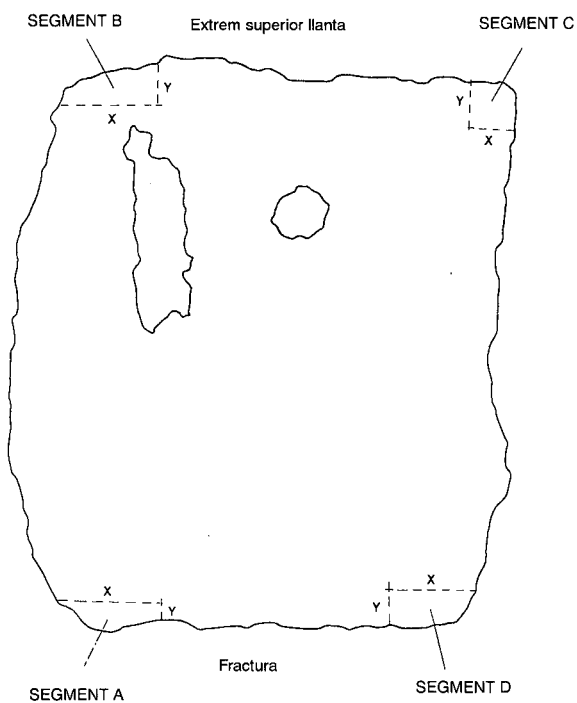


FIGURA 5: Diagrama d'extracció sobre N.I.M. 2002.

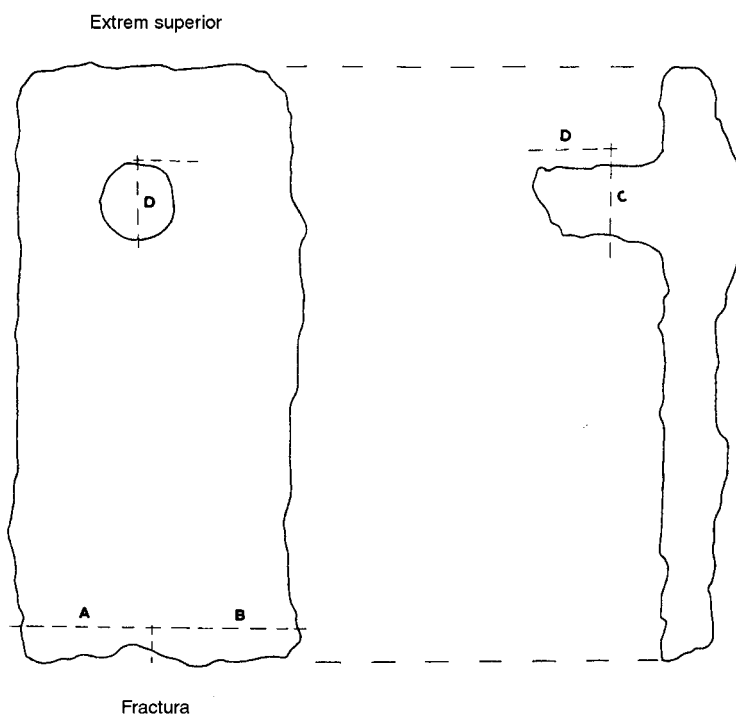


FIGURA 6: Diagrama d'extracció sobre N.I.M. 2003.

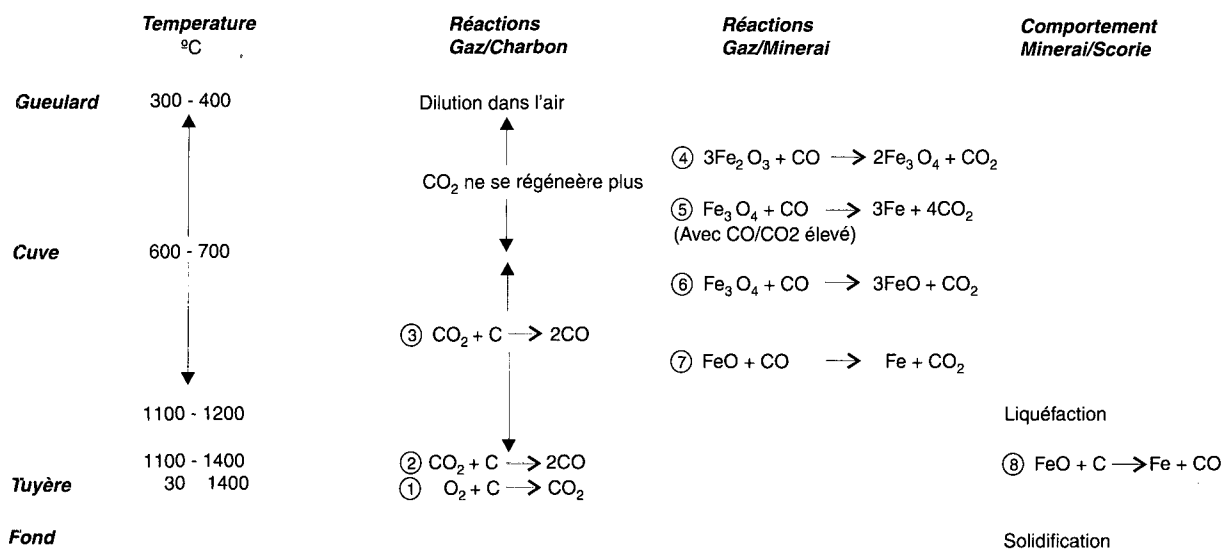


FIGURA 7: Processos químics de reducció d'òxids de ferro en un baix forn (de Serneels, 1993).

La microanàlisi química, a partir de l'espectrometria de dispersió de Raigs X, permet efectuar una anàlisi quantitativa i qualitativa dels elements físic-químics del metall, utilitzant l'emissió de les seves radiacions i descomposant-les a través d'un analitzador. Principalment, s'ha emprat aquest mètode per la comparació analítica entre incursions no metàl·liques.

L'equip d'observació en microscopia òptica ha estat un microscopi metalogràfic d'il·luminaació vertical PHOTOMICROSCOPE II C. ZEISS. Per a les proves de microdureza s'ha emprat un microduròmetre MATSUZAWA SEIKS DMH-1, d'unitat HV (Vickers Hardness), a les constants de 15 seg./100 g. L'equip electrònic s'ha centrat en un microscopi electrònic de rastreig (MER) JEOL JSM-6400, utilitzant una diferència de potencial de 20 KV; per a una millor diferenciació entre fases amb diferent composició química, s'han obtingut imatges mitjançant electrons retrodifosos o "backscattered". La microanàlisi química s'ha efectuat amb un analitzador acoplat LINK ANALYTICAL LZ-5, espectròmetre d'energia dispersiva de Raigs X amb la possibilitat de detectar elements lleugers a partir del Bor.

### 3.2. Condicions físiques i metalúrgiques del conjunt

El procés de mineralització, habitual en els ferros antics i normalment més accentuat en pro-

porció a la seva edat, ha actuat de forma diferent en els fragments de llanta i en el travesser, tot i haver estat teòricament sotmesos a les mateixes condicions ambientals. En aquest sentit, la majoria de materials d'anàlisi es caracteritzen pel seu excel·lent estat de conservació, tot i la fragmentació d'algunes àrees, el que ens ha permès el manteniment de la matriu metàl·lica en gran part de les mostres d'extracció.

La presència de matriu metàl·lica en les mostres afirma el procés reductor del mineral de ferro en el baix forn, segons el qual és perfectament factible l'obtenció de metall en determinades condicions i temperatures totalment assolibles en un forn preromà (fig. 7), en contraposició a la creença del treball sobre òxids de ferro, de gran fragilitat i impossible tractament mecànic. La tecnologia dels forns que reduïen el mineral, amb l'experiència anterior de la reducció del Cu, permetia extreure ferro pur a partir de 700° C. en atmosferes d'alta concentració en CO i CO<sub>2</sub>, i al voltant de 1000° C. en condicions normals; l'esponja obtinguda, mitjançant la forja i el cinglatge, es conformava com a barra o "lingot"<sup>7</sup> original, material base per obtenir les peces definitives.

<sup>7</sup> La paraula lingot implica fosa de metall reduït pel seu emmotllament, per tan no resulta adequada per designar la barra de metall de ferro producte de la forja. A manca d'una expressió més indicada, del tipus *currency bar*, la citarem entre cometes.

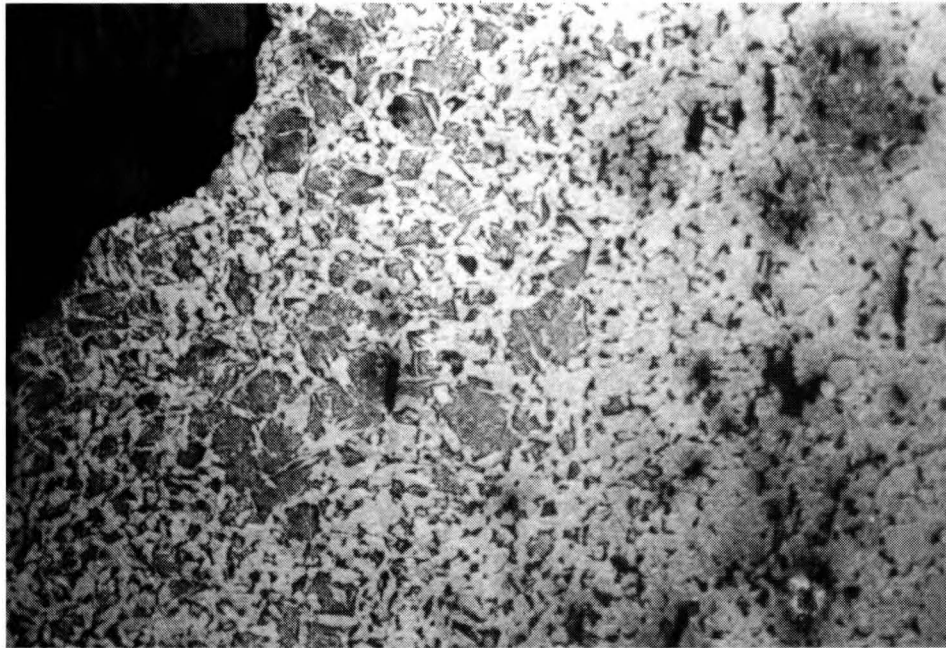


FIGURA 8: Microestructura ferrítico-perlítica (x800) de la mostra PT/2001/2.

### 3.3. Descripció i interpretació microestructural

#### A) *N.I.M. 2001*

En els dos talls obtinguts, PT/2001/1 i PT/2001/2, s'observa una multiplicitat microestructural singularitzada per la secció transversal de la mostra i descrita des de la vora esquerra a la dreta:

La matriu metàl·lica s'inicia amb una vora de component estructural ferrítico-perlític (0.3-0.4 % C) amb gra perlític ben desenvolupat i cementita primària de làmina fina (fig. 8); tot seguit, es troba una zona, de semblant amplada, formada per grans ferrítics travessats per diverses inclusions orientades paral·lelament a la superfície de la peça; sobtadament torna a créixer el percentatge de C fins ésser gairebé eutectoide (0.7-0.8 % C) (fig. 9), ben a prop del centre de la mostra, trobant com a inclusió algun gra d'aspecte vitri; ja al nucli, s'observa una microestructura formada per troostita i col·lònies de fines agulles de martensita; a partir d'aquest punt i progressivament fins la vora externa, s'aprecia una disminució del percentatge de C

arribant altre cop, a una estructura ferrítico-perlítica amb un gra perlític de grandària reduïda (0.1 % C), que limita amb la oxidació externa de la vora de la peça.

D'aquestes dades s'interpreta que la zona central troostítico-martensítica indica un tractament tèrmic de tremp; no obstant, i pel fet de no mantenir-se la microestructura en tota la mostra, és evident que es produí una posterior recristal·lització on s'arribà a temperatures prou altes, però no homogènies perquè no afectaren el centre, austenitzant només la part externa de la mostra; a partir d'aquest fet, es produí un refredament lent que ha provocat l'aparició de les diverses estructures. En aquest segon procés, s'aprecia una diferència de carburació entre un costat i l'altre del clau, el que indica que, accidental o intencionadament, la peça es deixà descansar sobre un dels costats en el llit de carbons, provocant una cementació parcial de l'objecte.

Les múltiples inclusions que s'observen en la mostra pressuposen un "lingot" de metall poc treballat en la forja, alhora que la seva orientació indica que el martellatge es produí aplanant la peça i donant-li secció.



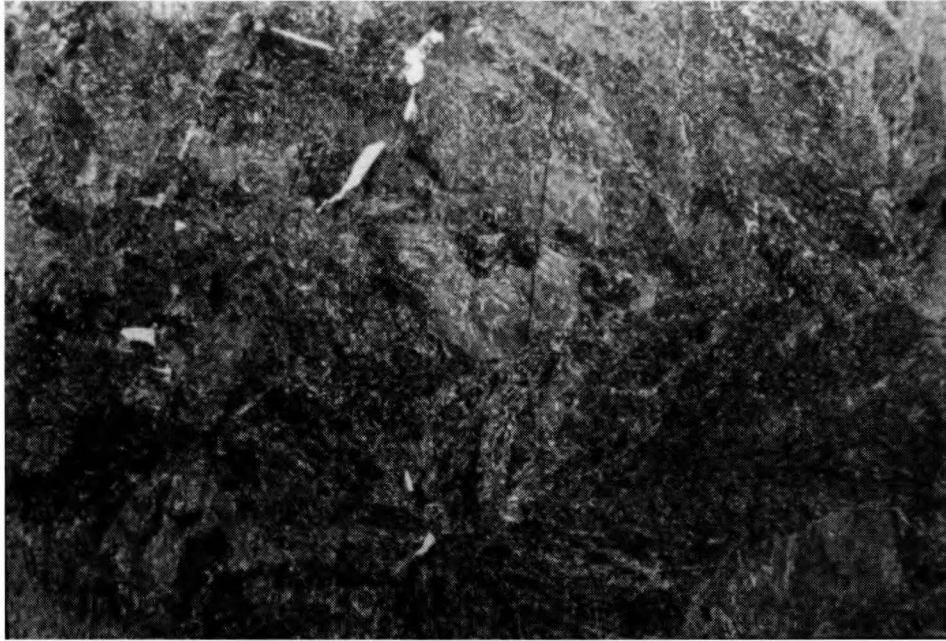


FIGURA 9: Àrea microestructural eutectoide (x700) de la mostra PT/2001/1.

Les analítiques efectuades mostren una matriu metàl·lica amb cristalls de ferro de molta puresa i inclusions formades per silicats i per òxids de manganès.

### **B) N.I.M. 2002**

#### – Segment A.

L'observació de la matriu metàl·lica de les mostres PT/2002/1 i PT/2002/2 presenta una microestructura de tipus troostític-martensític amb molta uniformitat de gra, alhora que s'evidencien diverses cadenes de cementita (fig. 10). Han estat efectuades microdureses per a comprovar el grau de carburació de l'estructures, evidenciant 824-693 HV per la martensita i 440-330 HV en l'àrea troostítica. Les inclusions no metàl·liques són poc nombroses i tenen forma allargada en la mostra PT/2002/1.

Aquestes dades indiquen que s'ha produït un refredament quasi a velocitat crítica de tremp, tractament tèrmic amb tremp suau, possiblement efectuat al submergir la peça en oli o qualsevol altre matèria líquida lleument calenta o a temperatura ambient, fet que ha ocasionat una transformació austenítica parcial en troostita i martensita; presenta cadenes de cementita, les quals indicarien que, al

menys en determinades zones, es tractava inicialment d'un acer hipereutectoide (0.8-2 % C) que, en el moment de fer el tractament tèrmic, no ha arribat a la temperatura necessària per a una total austenització.

La reduïda quantitat d'inclusions en la mostra denota un treball efectiu de cinglatge i forja per conformar el "lingot". L'orientació de les inclusions, paral·lela majoritàriament al perímetre de la llanta i testimoni, per tant, d'una tasca d'estirament del "lingot", fa suposar que s'ha donat forma a l'objecte en calent, amb anterioritat a la recristal·lització, deixant la inclusió amb la forma del treball inicial.

L'anàlisi químic de la mostra presenta una matriu metàl·lica amb cristalls de ferro molt pur i inclusions no metàl·liques formades per silicats i per òxids de manganès, propis de les escòries obtingudes pel mètode de reducció directa.

#### – Segment B.

L'observació de la matriu metàl·lica de PT/2002/3 i PT/2002/4 presenta una microestructura hipoeutectoide ferrític-perlítica de baix contingut en carboni (0.1-0.2 % C); el gra de ferro  $\alpha$  és majoritàriament equiaxial de grandària mitjana, tot i observar-se en alguna zona variacions importants

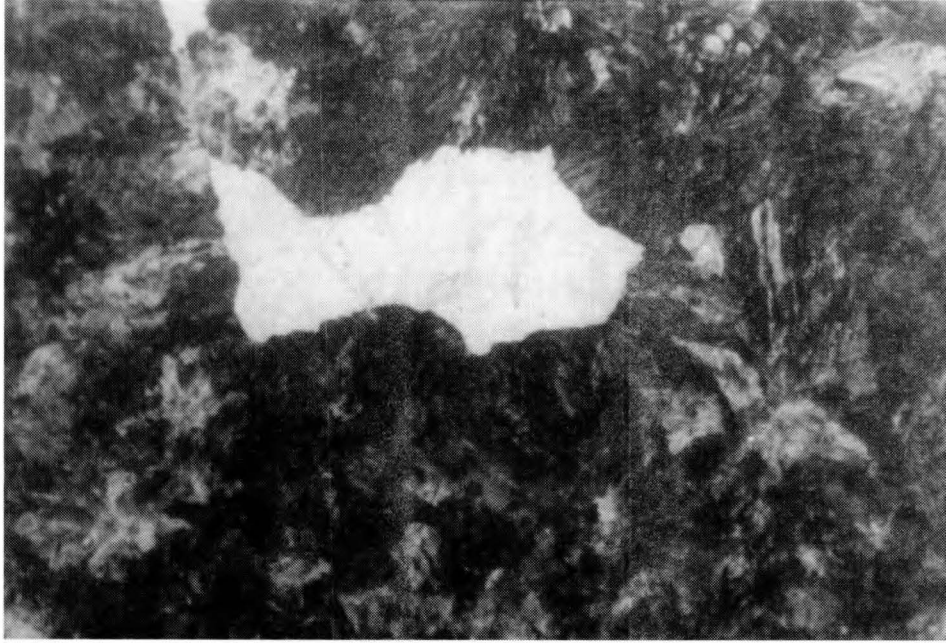


FIGURA 10: Microestructura troostítica-martensítica (x1800) de la mostra PT/2002/1.

de grandària, no mostrant deformacions produïdes pel treball de transformació de la peça. El component cementític de la perlita està format per làmines fines. Les inclusions no metàl·liques són poc nombroses i mostren orientació estirada en la mostra PT/2002/3.

La manca de deformació del gra a la matriu metàl·lica pressuposa una doble possibilitat d'interpretació: una darrera recristal·lització, un cop ja conformada la peça, o fer l'últim tractament mecànic de la peça en calent, a temperatura de recristal·lització, en el darrer estadi del seu acabat. L'estructura laminar fina de la perlita mostra un refredament natural, no excessivament lent. Els grans ferrítics es caracteritzen per una diferència de grandària, són majoritàriament petits però s'observen de molt grans, indicant un creixement de fusió on alguns límits de gra han desaparegut formant entre tots grans de molta més grandària, fet que provoca una estructura heterogènia de no massa bones propietats mecàniques.

La poca quantitat d'inclusions en la mostra revela un treball efectiu de cinglatge i forja al conformar el "lingot" original (fig. 11). La seva orientació majoritària indica que s'ha donat forma a l'objecte en calent, amb anterioritat a la recristal·lització, deixant la inclusió amb la forma del treball inicial.

L'anàlisi química presenta una matriu metàl·lica amb cristalls de ferro caracteritzada per la

presència de petits percentatges de coure i manganès; la presència de Cu és bastant habitual en un estadi primitiu de la siderúrgia del ferro, on l'exploració de mineral de Fe i Cu provoca la seva posterior reducció i la possible fusió del Cu, que trobem incorporat a la matriu metàl·lica de Fe. El percentatge de Mn de la matriu indicaria, possiblement, la presència de molt petites inclusions de MnO recollides per l'àrea oberta d'anàlisi; si no correspongués a inclusions no metàl·liques, aquesta troballa de Mn a la matriu significaria que el forn ha assolit temperatures suficientment altes per a la reducció del MnO, fet difícilment imaginable per un estadi primitiu d'obtenció de ferro. Analitzades diverses inclusions no metàl·liques s'ha comprovat que són formades per òxids de ferro-manganès.

#### – Segment C.

A les mostres PT/2002/5 i PT/2002/6 s'observa una estructura heterogènia caracteritzada per un augment progressiu de carburació, que, des de la vora, mostra des d'un component microestructural ferrític-perlític (0.1-0.5 % C) fins a un de totalment eutectoide (0.8 % C). La morfologia del gra és equiaxial i uniforme, no presentant deformació pel treball mecànic de transformació sobre la peça. La cementita de la perlita mostra una estructura laminar molt fina, arribant a perlita sorbítica en determinats punts.

Com a la resta de mostres, les inclusions no metàl·liques són poc abundants, i les existents es

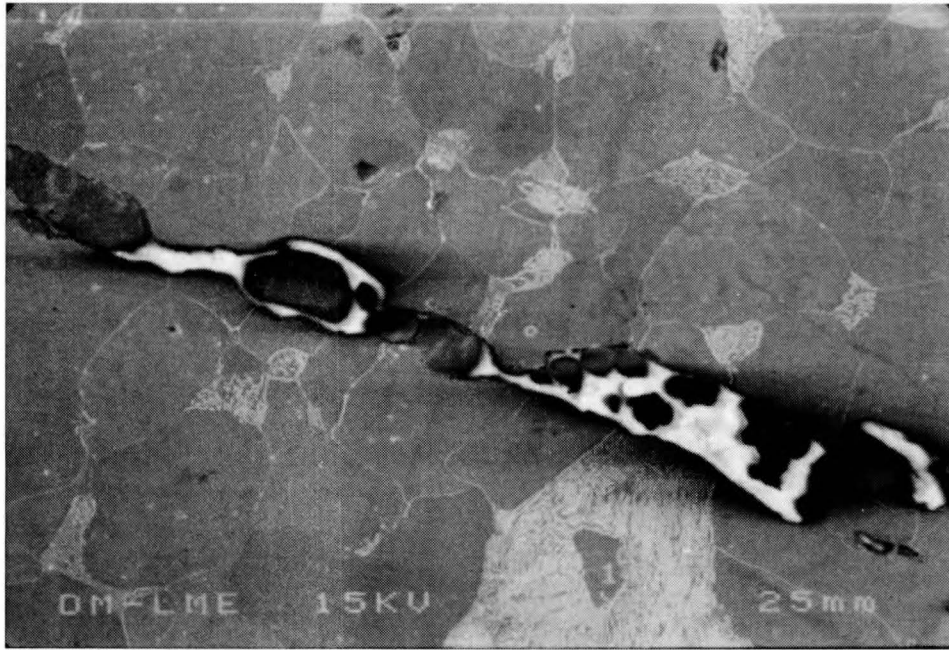


FIGURA 11: Inclusió no metàl·lica sobre microestructura ferrític-perlítica (x500) de la mostra PT/2002/4.

presenten majoritàriament de forma longitudinal en la mostra PT/2002/6.

La interpretació de les microestructures observades indica una doble possibilitat referent a la manca de deformació del gra: la posterior recristal·lització intencionada o l'acabat de la peça en calent, a temperatura de recristal·lització, com a darrer estadi en la seva conformació. L'estructura laminar de la perlita i la presència de perlita sorbítica en determinades zones de l'àrea estudiada demostren que es sotmeté la peça a un refredament natural però ràpid, el més ràpid dels refredaments no provocats per la tècnica del tremp<sup>8</sup>.

Les inclusions no metàl·liques són pràcticament absents en les mostres esmentades, fet que indica novament el bon treball de cinglatge i forja per a obtenir el "lingot" i que es reflexa perfectament en aquesta zona del segment. L'orientació de les inclusions pressuposa que s'ha donat la forma a l'objecte en calent, amb anterioritat a la

recristal·lització, deixant la inclusió amb la forma del treball inicial.

L'anàlisi química de la matriu metàl·lica mostra una composició gairebé absoluta de cristalls de ferro molt pur i inclusions no metàl·liques formades per silicats i per òxids de manganès, propis de les escòries obtingudes pel mètode de reducció directa.

#### – Segment D.

L'observació de la matriu metàl·lica de les mostres PT/2002/7 i PT/2002/8 s'ha caracteritzat per la troballa d'una microestructura troostítica amb col·ònies de martensita de grandària variable, les quals mostren unes microdureses de 738-649 HV, essent de 452-381 HV per la troostita. L'heterogeneïtat microestructural permet trobar-hi limitades zones ferrític-perlítiques (aprox. 0.6-0.7 % C) amb gra de grandària mitjana.

Les inclusions no metàl·liques són relativament poques, mostrant majoritàriament forma allargada en la mostra PT/2002/7.

La interpretació de les estructures trobades indica un tractament tèrmic de tremp on el refredament

<sup>8</sup> La possibilitat més factible és que es deixés refredar la peça a un indret on les corrents d'aire l'afectessin heterogèneament, incidint més a diferents parts de l'objecte; no s'ha de descartar, però, el fet d'un agitament intencionat de la peça per accelerar el seu refredament.



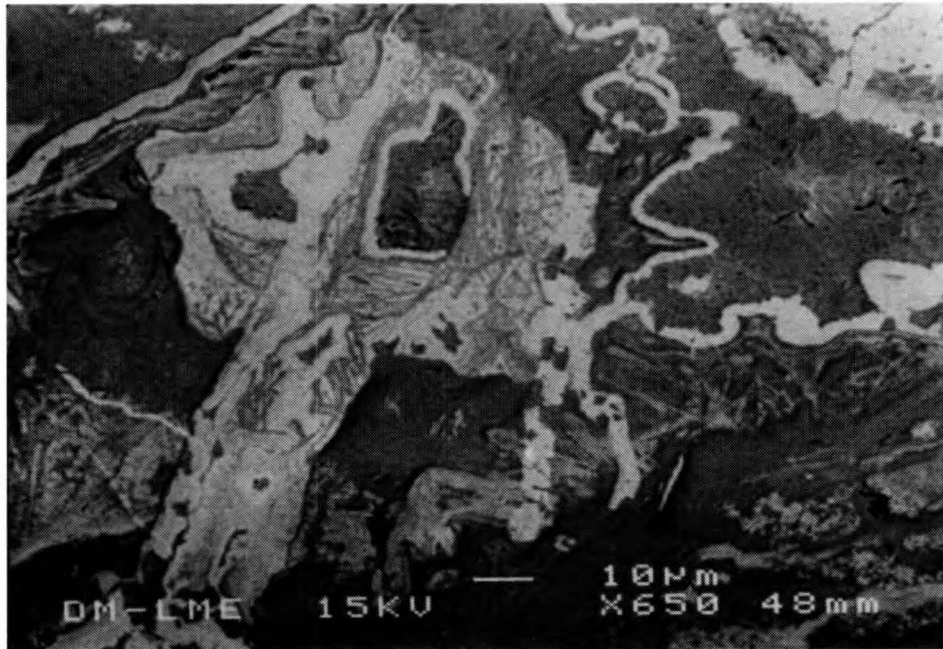


FIGURA 12: Emprems de microestructura perlítica (x650) sobre matriu d'òxids fèrrics.

no ha estat bruscat en excés, possiblement aquesta àrea sofrí un tremp suau per immersió en oli o qualsevol altre líquid a temperatura ambient, fet que ha provocat una estructura no totalment martensítica. L'existència de la zona de microestructura martensítica i d'una altra àrea ferrítico-perlítica indica un divers grau de carburació no intencionat per sectors i un tractament tèrmic realitzat amb poc èxit.

La manca de nombroses inclusions, fet habitual en els estris de ferro preromans, mostra un efectiu treball de cinglatge i forja sobre el lingot original; la seva orientació fa suposar que s'ha conformat l'objecte en calent, amb anterioritat a la recristal·lització, deixant les inclusions amb la forma del treball inicial.

L'anàlisi química de la mostra presenta una matriu metàl·lica amb cristalls de ferro de gran puresa i inclusions no metàl·liques formades per silicats i per òxids de manganès, propis de les escòries obtingudes pel mètode de reducció directa.

### C) N.I.M. 2003

Les mostres del travesser, PT/2003/1 i PT/2003/2, es troben molt afectades per la mineralització

i presenten una matriu d'òxids de ferro, les quals formen diverses bandes colomorfes producte del diferent grau d'oxidació, sense inclusions visibles; no obstant, s'aprecien diverses partícules metàl·liques formades per restes de grans de ferrita; s'observen també les emprems sobre els òxids de ferro de diverses cadenes de cementita primària i d'alguns petits grans de perlita (fig. 12). S'han trobat petites partícules metàl·liques de coure, fet propi de la barreja de mineral de Fe i Cu en la reducció, on el Cu es fusiona i s'incorpora a la matriu de Fe de la peça.

A les mostres corresponents al clau del travesser, PT/2003/3 i PT/2003/4, s'observa una matriu metàl·lica similar a la de la peça anterior, mostrant partícules metàl·liques formades per restes de grans ferrítics. S'evidencia un gran nombre d'esquerdes pròpies de l'augment de volum creat per l'oxidació i que permeten que prossegueixi la penetració de l'oxigen.

De les dades obtingudes s'interpreta que el travesser fou sotmès a un tractament de cementació amb resultats heterogenis, que ha conservat en forma d'emprems de microestructures de perlita i de grans de ferrita; del rebló només es conserven dispersos grans ferrítics però, possiblement, les estructures carburades no han pogut ser observades pel desenvolupat grau de mineralització en que es troba la peça.

## 4. RECAPITULACIÓ I CONCLUSIONS

El resultat inicial de l'estudi metalogràfic dels materials del conjunt del carro de Montjuïc indiquen l'existència d'ànima metàl·lica, testimoni de que el procés de reducció del mineral de ferro obtenia el metall, base sobre la qual es confeccionaven els útils; amb la barra metàl·lica, prèviament expulsada l'escòria mitjançant un efectiu tractament de cinglatge i forja, es procedí a conformar els atuells del carro utilitzant diversos procediments, en gran part singularitzats a cada peça i a la seva funció específica.

La llanta està fabricada a partir de ferro carburat o acer no homogeni, no sabem si producte d'un primer tractament o ja provinent d'un "lingot" o barra inicialment acerat; amb posterioritat a la carburació va rebre una recristal·lització, la qual permeté obtenir uns grans microestructurals no deformats per la forja. Conformada la peça, es procedí a efectuar un tremp que l'afectà amb diversa intensitat i del que quedà exclòs l'extrem superior, possiblement l'indret de subjecció durant l'immersió de refredament.

El clau de la llanta procedeix d'un "lingot" o àrea de "lingot" diferent a la llanta, ja que conserva major nombre d'inclusions. Es tracta d'una peça carburada, no sabem si com a primer tractament o ja provinent d'un "lingot" acerat no homogèniament, en la qual s'ha produït, com a la llanta, una recristal·lització; posteriorment s'efectuà un tremp i, tot seguit, va rebre una austenització gairebé total, no homogènia, deixant part de la microestructura del tremp com a resta de les operacions anteriors, inutilitzant, per tant, els processos anteriorment efectuats. Finalment el clau va rebre una

cementació parcial, no sabem si intencionada o accidental, que va permetre la penetració del carboni en el costat de la peça sobre el que entrà en contacte el combustible.

Per la seva part, el travesser, que ha diferència dels materials anteriors només conserva empremtes i petites partícules metàl·liques, fou també acerat de forma heterogènea, però no conserva microestructures relatives al tractaments als quals foren sotmesos la llanta i el clau.

Els diferents mètodes descrits, emprats per a confeccionar els materials d'estudi, assenyalen un coneixement acurat de les tècniques de tractament mecànic i tèrmic (tremp, recuit, revingut i cementació), a ben segur no adquirides com a procediments singulars si no pròpies d'una metodologia transmesa de forma pràctica i ampliada per l'experiència personal de l'artesà, que les aplicava particularment en relació a la funcionalitat futura del material<sup>9</sup>. No obstant, tot i que poguessin haver seguit unes pautes de treball correctes i estandaritzades, els resultats foren heterogenis a causa de les limitacions tecnològiques, ja iniciades per les característiques dels forns emprats; a aquestes mancances, s'hi afegia el fet de no disposar de mecanismes de control que els permetessin apreciar el producte final del seu treball, validació qualitativa que només es podia advertir a través de l'experiència del ferrer i el seu grau de perfeccionament tècnic-mecànic i de perícia manual.

<sup>9</sup> Les fonts gregues, principalment Aristòfan, ens citen les estructures gremials i familiars dels ferrers a l'Atenes clàssica, on formaven barris i s'especialitzaven en determinats procediments de treball aplicats a diversos tipus d'estri i utilitat. Glotz, G. (1920) *Le travail dans la Grèce Ancienne*. Paris. Pleiner, R. (1969) *Iron working in Ancient Greece*. Praga.

## BIBLIOGRAFIA

- APRAIZ BARREIRO, J. (1958), *Tratamientos térmicos de los aceros*. Patronato Público E.T.S.I.I. Madrid.
- AULADELL MARQUÈS, J. (1992), *Origen i estudi tipològic de l'utilatge de ferro agrícola, industrial i domèstic íber a Catalunya*. Tesi de Llicenciatura inèdita. Univ. de Barcelona.
- FERNÁNDEZ AVILÉS, A. (1946), "El carro ibérico de Montjuich", *Archivo Español de Arqueología* XIX, pàgs. 262-263.
- FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; OLMOS, R. (1986), *Las ruedas de Toya y el origen del carro en la Península Ibérica*. Museo Arqueológico Nacional. Madrid.
- GLOTZ, G. (1920), *Le travail dans la Grèce Ancienne*. Felix Alcan Ed. Paris
- GRANADOS GARCÍA, J.O. (1982), "Cerámicas de importación halladas en los silos del Port (Barcelona)", *Helike* I, pàgs. 164-181.
- GULIÁIEV, A.P. (1974), *Metalografía. Tomo 1*. E.P "URSS". Moscú.
- MADROÑERO DE LA CAL, A. (1983-84), "Estudio metalúrgico de algunas piezas del Museo Arqueológico Provincial de Murcia", *Empúries* XLV-XLVI, pàgs. 274-284.
- MARTÍN COSTEA, A.; RUIZ ZAPATERO, G. (1980), "La metalurgia del hierro en el poblado protohistórico de Vallipón (Teruel)", *Revista de Metalurgia C.E.N.I.M.* vol. 16 n° 1, pàgs. 31-40.
- PLEINER, R. (1969), *Iron working in ancient Greece*. National Technical Museum. Praga.
- RICKARD, T.A. (1939), "The primitive smelting of iron", *American Journal of Archaeology* LXIII vol. 1, pàgs. 83-101
- SERNEELS, V. (1993), *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur le sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*. Cahiers d'Archéologie Romande, núm. 61. Laussane.
- SERRA RÀFOLS, J. de C. (1968), "Notes sobre la indústria del ferro a Catalunya abans de la romanització", *Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* 5, pp. 9-22.