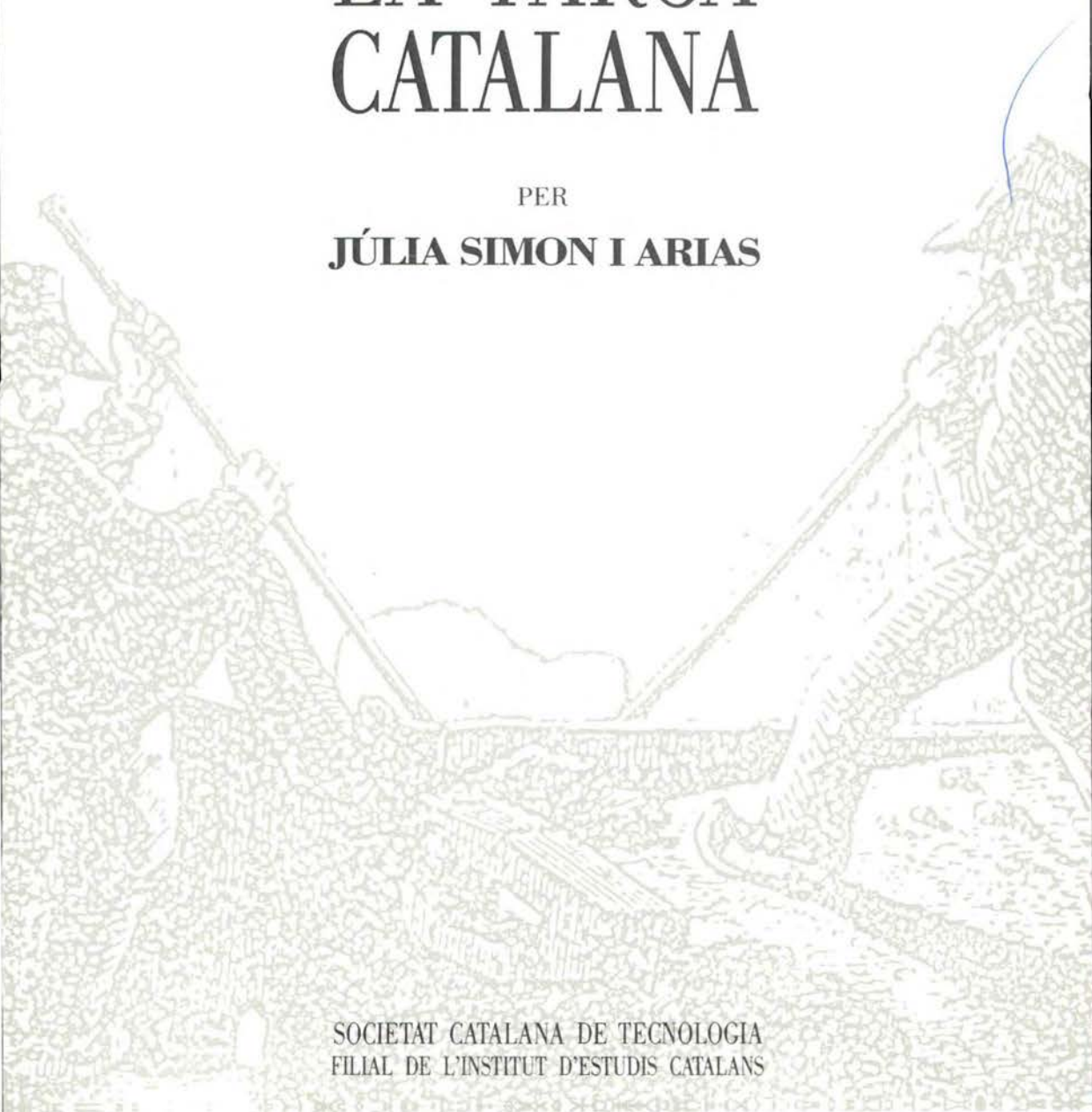




LA FARGA CATALANA

PER

JÚLIA SIMON I ARIAS



MONOGRAFIES DE TECNOLOGIA, 1

JÚLIA SIMON I ARIAS

LA FARGA CATALANA

Estudi metal·lúrgic del procés

SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Barcelona, 1992

122
1/22

1.500

LA FARGA CATALANA

Estudi metal·lúrgic del procés

MONOGRAFIES DE TECNOLOGIA, 1

JÚLIA SIMON I ARIAS

LA FARGA CATALANA

Estudi metal·lúrgic del procés

SOCIETAT CATALANA DE TECNOLOGIA
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Barcelona, 1992

INSTITUT CATALÀ DE BIBLIOGRAFIA. DADES CIP:

Simon i Arias, Júlia

La Farga catalana

Bibliografia.

ISBN 84-7283-191-4

I. Societat Catalana de Tecnologia II. Títol

III. Col·lecció 1. Farga catalana, Procediment de la
669.1(467.1)(091)

Disseny gràfic de Jaume Tomàs i Bilbeny

© 1992, Institut d'Estudis Catalans

© Júlia Simon i Arias

Editat per la Societat Catalana de Tecnologia
(filial de l'Institut d'Estudis Catalans)

Carme, 47 – 08001 Barcelona

Primera edició: març de 1992

Tiratge: 600 exemplars

Compost i imprès a Romagraf, SA

Joventut, 55 – 08904 l'Hospitalet de Llobregat

ISBN: 84-7283-191-4

Dipòsit legal: B. 10.041-1992

*A RAMON SIMON I ARIAS,
el meu pare.*

This One



T4R4-9X2-B3G7

– !Oh comte Tallaferro! no us aturèn,
que'ls sarrahins saquegen Elna y Ceret.
Mes vèus aquí una espasa que es de bon tremp:
de Castelló en lo siti la duya Otger;
Otger moria en braços d'un avi meu
que de l'espasa feuli gentil present;
reliquies de Sant Jordi té dins la creu.
“No la doneu, li deya, sinó a un guerrer
que talle'l ferro verge com brots de cep.”
Prenèula, Tallaferro, no us aturèn,—
Lo comte no s'atura, d'exa'l bon vell,
que axeca'l toch solemne de sometent.
La campana ab que hi toca no es de gran preu,
no es de coure, ni bronzo, d'or, ni d'argent,
sinó del millor ferro d'aquells meners;
en ella no s'hi veuen colps de martell,
sols s'hi veuen ditades del penitent.
Un dia anà a la farga de Montferrer:
– Fargayres, bons fargayres, axí us guardeu Deu
com jo he feta una ermita dintre'l desert;
les portes son de roure, l'altar de teix;
sols me falta una clotxa per son cloquer:
podria en les tempestes tocà a bon temps,
y en les guerres de moros a sometent,
¿per fèrmela de ferro me'n donarèu?
– De la fornall prenèusel, està bullent –
Posant la mà a la fosa, lo sant se'l pren;
la pasta com sa terra lo terricer,
d'una mitra donantli l'ayre y cayent.

Mossèn Jacint Verdaguer
Canigó
Cant V, “Tallaferro”

AGRAÏMENTS

Agraeixo sincerament i en especial a la Presidència de la Societat Catalana de Tecnologia haver escollit la meua tesi per ésser publicada.

En el present escrit, però, he cregut convenient d'afegir alguna nova aportació, i reduir algun llistat d'anàlisis i dades per tal de fer menys feixuc el seu ús.

També voldria reiterar el meu agraïment a:

Joaquim Solans i Huguet, director de la tesi doctoral.

La Delegació de Barcelona del Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica (U.P.C.).

L'Institut Jaume Almera (C.S.I.C.).

I a tots els qui amb paciència i comprensió van compartir els meus problemes i inquietuds, fent possible la realització de la tesi.

Moltes gràcies.

Júlia Simon i Arias

*I així vaig començar: “Tu que m’ets guia,
guaita si tinc prou força i prou virtut per
arriscar-me a tanta gosadia”.*

Dante Àlighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL I

INTRODUCCIÓ

Einstein va dir: “Què sap el peix de l’aigua on neda tota la vida?”; i seguint el seu mestratge, no vull iniciar aquest capítol intentant precisar quan i on van donar-se els orígens de la metal·lúrgia del ferro, perquè, encara avui, hi ha opinions controvertides que proven de fixar-ne el principi.

Únicament exposaré aquí el que pot ésser d’interès per a ajudar a la comprensió de l’evolució del forn català i el seu procés metal·lúrgic.

En siderúrgia no hi ha hagut ni una única tècnica ni un sol camí que duguessin a l’obtenció del ferro, sinó nombroses tècniques semblants, que han pogut conviure en una mateixa regió. Aquesta simultaneïtat, que la trobem a l’Àfrica entre el 1850 i el 1930, es donava a Europa abans del 1850.

Pel que fa als forns que han estat utilitzats per a beneficiar el ferro, es poden classificar mitjançant quatre criteris:

Un primer criteri és que hi ha dos mètodes diferents per a obtenir el ferro. En un primer sistema s’obté una massa sòlida de ferro dins el forn, d’on ha d’ésser extreta. Aquest procediment, que en anglès és denominat *bloomery process*, és el més important a l’època pre-industrial. En el segon sistema, s’obté el ferro en forma líquida, l’anomenada fosa (gràcies al fet que el major contingut de carboni que té el ferro, en aquest cas, fa abaixar-ne el punt de fusió).

Un segon criteri es recolza en el procediment utilitzat per a produir el corrent d’aire necessari per al funcionament del forn. En uns forns s’utilitza el tir natural, mentre que en altres el tir és forçat, essent injectat l’aire dins el forn per mitjà de manxes o per altres procediments.

Un tercer criteri és a partir del tractament donat a les escòries. En uns forns es deixa que aquestes omplin el fons del forn, mentre que en altres se sagnen les escòries diverses vegades durant el procés.

L'últim criteri deriva de les formes i dimensions relatives dels forns, i així, podem classificar aquests en forns de cup baix (*bowl furnace*) i forns de cup alt (*shaft furnace*).

Mitjançant aquests criteris i seguint Tylecote, podem efectuar la classificació següent:

A) Forns on el ferro s'obté en forma de massa sòlida.

Segons les característiques que presenten, se'n poden diferenciar cinc grups:

A-1) Forns de tiratge natural sense evacuació de les escòries. Els exemples més moderns d'aquests tipus de forns han estat trobats a l'Àfrica. El corrent d'aire el produeix l'efecte xemeneia del mateix forn; per tant, ha de tenir una certa alçada, ja que el tiratge és més bo com més gran és la diferència d'altura entre la sortida i l'entrada de gasos. Les escòries no es treuen sinó que degotegen al fons del forn. Normalment aquests forns tenien un gran nombre de toveres per a produir el corrent d'aire necessari. N'han estat trobats alguns que en tenien fins a vuitanta. En aquests forns, el temps de treball per a obtenir una massa de ferro acostumava a ésser llarg.

A-2) Forns de tiratge natural amb evacuació d'escòries. També han estat trobats, forns d'aquest tipus en els quals la característica més important és que se sagnen les escòries diverses vegades durant el procés.

A-3) Forns de tiratge forçat, sense extracció d'escòries. Els forns de tiratge forçat presenten millors característiques que els anteriors. El nombre de toveres disminueix, i poden ésser més baixos, en no ésser necessari que es produeixi l'efecte xemeneia. Normalment disposen de manxes, mogudes bé per la força humana bé per mitjà de l'energia hidràulica. Tots els que han estat trobats eren construïts amb argila cuita, amb un forat a la part inferior per a introduir-hi la tovera. El metall i les escòries es treien conjuntament. El temps de treball per a obtenir la massa de ferro acostumava a ésser més curt que en els tipus de forn que hem descrit fins ara, i la massa de ferro obtinguda tenia proporcions més petites.

A-4) Forns de cup baix amb tiratge forçat i amb sortida d'escòries.

En aquest grup apareixen dos subgrups ben diferenciats: forns estrets amb una alçada de l'ordre del metre, molt superior a l'amplada (un forn d'aquest tipus, trobat a l'Índia, recorda el *Stückofen* alemany que descriurem més tard, però de dimensions més reduïdes). Les escòries eren tretes a intervals regulars, i no acostumava a ésser necessari enderrocar una part del forn per a treure'n el metall. Al segon subgrup pertanyen els forns baixos que tenen una amplada semblant a l'alçada. Per tant, hem de considerar que el forn de la farga catalana entra dins aquesta categoria. En tots ells el metall obtingut es retira per dalt del forn i així no s'ha de reconstruir

el forn entre operació i operació. Forns semblants els trobem a Europa en època prehistòrica, a la comarca alemanya de Siegerland, a la Renània. També se'n troben a Anglaterra, tant a l'època romana com a l'Edat Mitjana, i a Escandinàvia.

A-5) Forns de cup alt amb tiratge forçat i amb sortida d'escòries. Aquest grup és un dels més importants i possiblement el tipus d'ús més general. N'han estat trobats molts a l'Índia, i a Europa és un tipus molt freqüent en les restes arqueològiques. El forn més antic amb aquestes característiques és el forn de clot d'escòries, que tenia un pou al costat del forn on anaven a parar les escòries. Quan el pou era ple, es reconstruïa el forn una mica més enllà.

Quan el pou era ple, es reconstruïa el forn una mica més enllà. Aquests forns, ja ho hem dit, es trobaven per tot Europa, des d'Anglaterra, Escandinàvia i Polònia fins a França i Grècia. En aquests forns la quantitat de ferro que s'obtenia en una operació era variable, depenent de llurs dimensions. Calia treure el ferro a través de la paret del forn i, per tant, o hi havia preparades unes obertures que es tapaven quan el forn treballava, o, senzillament, s'enderrocava una part del forn i es reconstruïa abans de començar l'operació següent. L'exemple més evolucionat d'aquest tipus de forn és el *Stückofen* d'Estíria, a Àustria.

B) Forns on el ferro s'obté en forma líquida. Són el *Flossofen* i els alts forns. Segons sembla, la tècnica s'inicià a Xina i arribà a Europa durant l'Edat Mitjana, ja que els forns d'aquestes característiques més antics han estat trobats a Suècia i són del segle XIII.

Com veiem, per a obtenir quantitats importants de ferro tan sols hi havia tres possibilitats, ja que dues condicions eren essencials: que el tiratge d'aire fos forçat i que se sagnessin les escòries. Aquestes tres possibilitats eren: el forn de cup baix, essent l'exemple de més èxit el forn de la farga catalana; el forn de cup alt, del que es exemple típic el *Stückofen* alemany, i l'alt forn.

* * *

Fins aquí, del que acabem d'exposar sembla desprendre's que en els forns de cup baix el ferro obtingut era sempre en forma de massa sòlida, i això pressuposa que les temperatures eren moderadament altes, suficients per a reduir el mineral però insuficients per a fondre el ferro, i que per a aconseguir la fosa –ferro carburat en forma líquida– es necessitaven temperatures més elevades que només podien assolir-se afegint, a les condicions anteriors, l'efecte xemeneia creat en el forn de cup alt. Veurem ara uns

exemples que demostren que el que acabem d'exposar no és totalment cert:

El forn japonès dit *tatara*, que era de cup baix amb sortida d'escòries i tir forçat, començà a utilitzar-se durant el període Heian al segle VIII i encara era en ús al segle XIX. El ferro obtingut era d'alta qualitat i amb aquest es feien uns sabres reputats com les millors armes de l'època. El forn tenia grans dimensions: 3 m de llargada, 1 m d'ample a la part alta i 0,5 m a la baixa, i 1,5 m d'alçada. Cada fusió durava 68 hores i exigia la reconstrucció de part del forn. El mineral era repartit al llarg de les dues parets paral·leles a l'eix del forn. En 24 hores es feien de 60 a 80 càrregues compostes de pesos iguals de mineral i carbó. L'aire el proporcionaven unes manxes, dites *tatara*, que consistien en un plat basculant sobre un eix horitzontal en què cada meitat penetrava alternativament en dues caixes juxtaposades, de tal manera que la caixa en la qual la part del plat baixava, enviava el vent al forn mentre l'altra caixa aspirava l'aire exterior. El vent era conduït, per mitjà de dues toveres de bambú, a dos receptacles situats al costat del forn, i penetrava en el cup per unes altres toveres disposades en forma de ventall. Es recollia successivament fosa líquida, que es feia col·lar de tant en tant, i una massa composta d'acer dolç i escòria que es treia, un cop refredat el forn, enderrocant-ne una part.

Els siderurgistes xinesos, ja pels volts del 500 abans de Crist, produïen més ferro colat que no pas forjat, més fosa que no pas massa sòlida, havent adquirit el mestratge de la foneria, que empraven en la fabricació de planxes cobertes de caràcters. El codi imperial de l'Estat de Tsin va ésser reproduït a les parets d'una marmita de ferro de tres peus (513 a.C.). La colada de ferro i els motlles de fosa eren emprats normalment d'ençà del primer segle de la nostra Era, mentre a Occident aquesta tècnica no ha estat usual fins al segle XIV. Es parla de petits alts forns, però l'alçada no superava la del forn de la nostra farga. Gràcies a un ressort de doble efecte, la insuflació contínua en el combustible permetia d'obtenir temperatures més altes que en altres centres siderúrgics de l'Àsia (1r segle aprox. d.C.). Les manxes, inicialment accionades per centenars d'obriers, ho van ésser, des del 1r segle, per la força hidràulica, que també accionava el martinet de la forja.

A Estíria, famosa per la qualitat del ferro, amb un mateix forn s'obtenia, a voluntat, ferro colat o ferro en massa. Fem la transcripció de part de la segona memòria dels *Voyages Métallurgiques* en la "Description des mines et forges de fer et d'acier de la Styrie. 1958":

"... Aquí hi ha dues maneres de fondre el mineral de ferro: s'anomenen Floss-Ofen i Stück-Ofen. El Floss-Ofen és molt semblant a un alt forn, però més petit, té d'11 a 12 peus d'alçada i el diàmetre de fons del

forn és de 2 peus 10 polzades; el forn ràpidament s'eixampla fins a 3 peus de diàmetre, a un terç de la seva alçada, disminuint un altre cop fins a 2 peus de diàmetre a la boca de càrrega. En el fons del forn, fins a un peu de gruix, s'hi bat "brasca", barreja feta de carbó i argila a parts iguals. La tovera es fa d'argila i en cada operació es crema i ha de fer-se'n una de nova. La fosa del Floss comença el dilluns al matí, s'omple el forn amb carbó, s'escalfa, i quan aquest baixa es carrega amb més carbó i mineral: cada càrrega té una durada al forn de 2,5 a 3 hores. Passat aquest temps, el ferro i les escòries es colen a una gran cavitat que hi ha sota, per un forat del fons del forn tapat durant el procés amb una bola d'argila. Es tira aigua sobre les escòries, que es troben a la superfície del ferro, es retiren, i es deixa refredar aquest ferro, que s'anomena Floss. Aquest ferro és fosa blanca, compacta, molt fràgil, n'hi ha 3 o 4 quintars i se li diu Floss dur. El forn no està prou calent per a fer el floss tendre, que es comença a fer el dimarts a migdia. Es fa una nova tovera, perquè la primera s'ha cremat. "Mentre es fa, es carrega el forn posant més carbó que d'ordinari i menys mineral, perquè s'ha refredat amb la nova tovera. S'inicia de nou el procés i, quan es recarrega, s'augmenta la quantitat de mineral i es disminueix la de carbó. El material es deixa més temps al forn abans de foradar-lo. El ferro obtingut és menys compacte i més porós; això el fa més propi per a fer ferro que acer. Quan s'ha treballat bastant de temps fent Floss tendres, el ferro s'enganxa al fons del forn i no es cola bé; es procura augmentar la temperatura del forn, fent actuar les manxes més ràpidament i es renova la tovera per poder treballar el dissabte, fent Floss durs, i així no queda ferro enganxat al forn. Es fonen aproximadament 400 quintars de mineral cada setmana.

"... El mètode més antic de fondre el ferro és el del Stück-Ofen, o forn de masses, que és molt semblant al forn dels Floss. Vegem en què es diferencien. No hi ha obertura a la part baixa del forn, que és més gran: 4 peus d'amplada i 2,5 de fondària, essent l'alçada la mateixa que la dels forns de Floss. Té una obertura a la paret de les manxes (que són mòbils), de 4 peus d'ample per 2,5 d'alt, per on s'entra per a reparar-lo i batre la "brasca" del fons del forn; aquesta obertura es tapa amb grans maons d'argila, amb la qual es forma també la tovera. S'omple el forn, dilluns al matí, amb carbó i una tona de mineral, i es comença l'operació. Passades unes hores, quan l'obrer pressuposa que hi ha molta matèria al fons del forn, amb una barra de ferro fa un forat en els maons que tanquen la gran obertura de darrera, per fer colar les escòries, i quan han sortit totes el torna a tapar; torna a obrir-lo unes hores mes tard. Es continua així fins que hi han estat posades 13 tones de mineral, que és la quantitat de mineral fixa per a fer un masser o Stück de ferro i acer. Quan l'últim cistell ha estat carregat i el carbó posat per sobre, es deixa cremar quasi tot el carbó sense afegir-n'hi, es reculen les

manxes, es posa davant una gran planxa de ferro que es va regant contínuament, s'obre la part alta de la citada paret i dos homes treuen amb grans pales el carbó que hi ha al forn mentre dos més li tiren aigua i colen, en-sems, les escòries i una mica de ferro. S'obtenen, així, 6 o 7 quintars de ferro bons per a portar a l'afineria. Es continua traient el carbó i es descobreix la massa o Stück de ferro. Quan tota la massa de ferro i acer, que és agrumollada al fons del forn, ha estat deslliurada de les escòries i del carbó que l'envolten, s'aixeca amb l'ajut d'un gran aparellatge i es transporta al lloc on és partida amb un gran martell. A sobre s'ha deixat carbó per tal de mantenir-la calenta. Aquest Stück pesa de 13 a 14 quintars. S'han emprat 18 hores per a fer tota l'operació: 15 hores per a la fosa de les 13 tones de mineral de ferro i 3 hores per a retirar la massa i tornar a preparar el forn.

"... la massa, de 3,5 a 4 polzades de gruix, es parteix en dues i es porta a l'afineria, en la qual el vent és quasi horitzontal. La massa ferrosa, aguantada amb la mandíbula d'una forta tenalla, s'escalfa davant la tovera i una part del metall cola al fons del gresol perdent el carboni en un bany d'escòries riques, formant una "loupe" de ferro completament afinat. La part que queda dins les tenalles dona l'acer que s'estira en barres..."

T. Richard, enginyer en cap de les fargues de l'Arieja el 1838, testimonia que sovint ha vist produir-se fosa blanca en les fargues catalanes, la qual sortia juntament amb les escòries pel forat del *chio* (nom que es dona al forat de sortida de les escòries). Descriu la fosa blanca com dura, cristal·lina, molt fràgil, de color argentí amb bell esclat metàl·lic, i suposa que en la fosa blanca tot el carboni és combinat amb el ferro, mentre que en els altres tipus de fosa part del carboni hi és combinat i part hi és barrejat.

Es pot estimar, per tot el que hem vist, que hi havia poca diferència en les temperatures màximes que es podien aconseguir en un forn de cup baix o de cup alt, sempre que els sistemes d'injecció d'aire usats fossin comparables. I que el que hom no pretenia era d'assolir aquesta temperatura màxima, per a poder així obtenir directament ferro dolç o acer i forjar-lo tot seguit, sense estar obligats a portar-lo a l'afineria, cosa que era necessària quan s'obtenia fosa.

Una de les finalitats del present treball ha estat, amb les mostres metàl·liques i no metàl·liques de què hom disposava, intentar d'avaluar les temperatures de treball del forn de la farga Catalana, i confirmar les estimades pels estudiosos d'aquest mètode que hi van conviure, els quals les deduïren del color que prenien la matèria en el forn.

Tot el que acabem d'explicar ens permet d'establir les línies generals de l'evolució de la metal·lúrgia del ferro.

La fase inicial es realitzà amb petits forns de tiratge natural i sense evacuació d'escòries. La quantitat de ferro que s'obtenia en cada procés era petita. Tylecote, Austin i Wraith, el 1971, amb un forn experimental d'1,75 m d'alçada i amb tir forçat, obtingueren masses de ferro que variaven entre 1 kg i 6 kg. Però les dimensions dels forns prehistòrics europeus eren més petites.

Aquests forns foren substituïts per forns de cup baix o cup alt, i en el procés s'afegí la colada d'escòries, el tiratge forçat i el preescalfament de l'aire utilitzat.

Per incrementar la quantitat d'aire insuflat s'aprofita la força hidràulica, en uns casos movent les manxes mitjançant rodes hidràuliques, com a les ferreries de Bascònia; en uns altres, usant les trompes hidràuliques, que constituïran una de les característiques de la farga catalana. Per tant, el forn és traslladat del bosc, on hi havia el combustible, al riu, on es trobava la força hidràulica. La mida de les peces de ferro, a poc a poc, augmenta. Així, a Anglaterra se suposa que, al segle XI, la massa de ferro obtinguda en una operació era d'uns 14 kg, mentre que al segle XIV ja havia augmentat a uns 100 kg aproximadament. En les fases últimes del procés, representades per la farga catalana i el Stückofen d'Estíria, ja s'havia arribat als 150 o 200 kg.

Però, entretant, s'havia presentat un fort competidor: l'alt forn. En aquest, les temperatures eren elevades i s'obtenia ferro fos i molt carburat. L'alt forn apareix al segle XIII a Suècia i s'estén per tot Europa dos segles més tard.

I es crearà una competència entre el preu del ferro obtingut pel sistema directe i el de l'obtingut per l'afinament de la fosa.

El primitiu alt forn del segle XVI, engrandit, dotat de potents màquines d'aire i recuperadors de calor per a escalfar l'aire insuflat, es va convertir en el gegant de la indústria moderna.

Una altra modificació important del procés fou deixar d'utilitzar el carbó de llenya i adoptar l'ús del carbó de coc obtingut del carbó de pedra. Això, i l'invent de la màquina de vapor, al segle XVIII, va possibilitar posar en marxa forns de gran capacitat. I el taller siderúrgic tornà a traslladar-se, aquest cop per instal·lar-se a prop de les mines de carbó.

Hem dit que la competència entre ambdós procediments era de costos. El fet que la major part del ferro utilitzat era ferro dolç o acer, obligava l'alt forn a un doble procés, la fosa i l'afinament, mentre que el Stückofen i la farga catalana obtenien ferro dolç i acer amb un únic procés. Heus

aquí el principal mèrit de la farga catalana: ésser un procés directe, o sigui que obtenia el producte amb una sola operació. Atabada d'obtenir la massa de ferro o masser, anava, tot seguit, al martinet, on es preparava per a la forja.

Per contra, l'alt forn tenia una capacitat de producció que no tenien els altres procediments.

* * *

En totes les instal·lacions descrites, es perseguia l'obtenció directa de l'acer amb un major o menor contingut de carboni, aplicable a la fabricació d'armes i utensilis diversos.

Ara bé, les propietats tecnològiques de l'acer són fortament influïdes per continguts de certes impureses com són el sofre o el silici presents en petites dosis. Per tant, si les menes no tenen una composició adient, l'acer —com que no es refinava— podia resultar de mala qualitat.

D'altra banda, la reducció de les menes de ferro en tots els tipus de forns descrits és una reacció química heterogènia que, substancialment, es produeix entre un gas, CO, i un sòlid, la mena triturada. Per tant la velocitat de la reacció i el punt d'equilibri d'aquesta estan relacionats amb la morfologia física i cristal·logràfica de les menes usades.

És evident que una mena porosa reaccionarà molt més fàcilment davant un gas com el CO, que una mena compacta, i que una mena integrada per mineral amb l'estructura cristal·logràfica defectuosa resultarà molt més fàcilment atacable pel CO que una mena integrada per un mineral cristal·logràficament perfecte.

Per això l'èxit del treball de la farga catalana es basava en qüestions que escapen a la química convencional, i que són lluny d'una anàlisi com la que pot aplicar-se a la metal·lúrgia actual del ferro en l'alt forn, en el qual la majoria de les reaccions més importants ocorren en fase líquida.

És per això que, en el funcionament de la farga catalana, és d'importància capital la natura de la mena usada, no solament des del punt de vista de les substàncies que conté, que influeixen en les bones qualitats de l'acer, sinó també, pel que fa a la morfologia física i a l'estructura íntima dels cristalls que integren els minerals continguts en ella. Aquest aspecte és el que justifica l'extensió que es dona a l'estudi mineralògic de la primera matèria usada en la farga catalana i el que explica que les característiques dels forns i de les tècniques emprades, que s'usaren amb tant d'èxit a Catalunya, hagin fracassat en altres contrades on s'havia intentat d'introduir aquest procediment.

Ara bé, la indústria del ferro segons el procediment català, que va necessitar tants segles per a perfeccionar-se, va desaparèixer en pocs anys. Algunes temptatives van ésser fetes els últims temps per tal de mantenir en vigència aquest antic procediment. Els propietaris dels boscos, sobretot, que veien disminuir l'aprofitament de la llenya, es van esforçar a fer reviure el comerç dels antics ferros pirinencs, però fou en va. Els temps dels treballs aïllats, de les petites produccions, s'havien acabat, les necessitats ja eren unes altres i no eren suficients alguns trossos de ferro obtinguts penosament; s'havien de fer rajar del forn torrents de metall per a satisfer les creixents demandes de la indústria.

Amb tot, creiem que val la pena de continuar aprofundint en un procediment que tingué gran anomenada i que desaparegué deixant força secrets per descobrir.

*Però, a mi, què m'hi crida? qui m'hi vol?
No sóc ni Enees ni Sant Pau. M'adono
que ningú no em creu digne d'aquest vol.*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL II

LES MENES DE LA FARGA CATALANA

La farga, per a funcionar, necessitava mineral, aigua i carbó de llenya, i tenir aquests tres elements relativament a prop.

Això explica la localització de les fargues.

Ara bé, tal com ens ho expliquen els seus descriptors, en la farga catalana no hi poden ésser tractats tots els minerals de ferro. Aquests han de tenir consistència i ésser purs, rics i fusibles. És el tipus de mineral que s'usa des de temps antics en tots els forns baixos. Quan el mineral no reunia aquestes condicions, s'utilitzava el forn de cup alt. A la farga catalana podien ésser tractats ferros espàtics i carbonats compactes (siderites), hematites brunes concrecionades i hidròxids compactes argilosos (goethites i limonites en general) i hematites compactes, brunes i roges (hematites).

Els òxids hidratats, esmicoladissos, poc compactes o porosos, podien ésser carregats directament en el forn, però els espàtics o amb molt de carbonat càlcic i les hematites brunes riques i compactes, necessitaven un tractament previ. Aquest tractament era una calcinació al roig, feta en forns especials en els quals es podia regular la temperatura, perquè aquesta no arribés a produir un començament d'amolliment. Després, el mineral així tractat era abandonat durant un cert temps a l'aire, per tal de permetre que s'hidratés lentament.

El ferro magnètic, magnetita, l'hematites roja, varietat disgregada de l'hematites, i quasi tots els tipus de ferro oligist (varietat cristal·litzada de l'hematites) eren difícils de reduir a la farga, i la calcinació els alterava molt poc. Per això, quan s'utilitzaven, s'escalfaven fins a enrogir i després se submergien en aigua; d'aquesta manera es trencaven i fissuraven, tot adquirint una textura esponjosa, més propera a la de les altres menes.

Fins al segle XVIII, es torrava tot el mineral, abans d'emprar-lo a la farga. Aquesta torrefacció es feia per tal d'eliminar l'anhídric carbònic,

l'aigua, el sofre i totes les altres substàncies vaporitzables, i produir un augment de la superfície específica de la mena. Però al segle XIX va deixar de realitzar-se aquest procés, per tal d'estalviar combustible.

L'any 1600 el jesuïta Pere Gil escrivia:

“No falten a Catalunya mines de molts i molt fins metalls, les quals, Déu per sa misericòrdia li ha donat perquè de tot participàs. Quant a les mines de ferro, són de gran perfecció, abundància, profit, bondat i fortaleza, en els comtats de Rosselló i Cerdanya, especialment en Conflent, en els Pirineus”.

Recordem que això fou escrit abans de la separació dels comtats septentrionals pel tractat dels Pirineus. Ara bé, presenta un quadre d'un gran optimisme respecte a les menes de ferro. La realitat però, és molt diferent. En la vessant sud dels Pirineus, hi havia un gran nombre de petits afloraments de mineral de ferro, molts d'ells, avui dia, ja exhaurits.

La farga catalana utilitzà, com veurem, unes menes de característiques molt peculiars.

Els dipòsits de mineral de ferro que trobem a Catalunya i al sud del Llenguadoc, són en general de molt poca importància i no són comparables als grans dipòsits on es troben les reserves mundials. Respecte a la Catalunya estricta, veiem que en el *Mapa previsor de mineralizaciones de Hierro* (I.G.M.E., 1972), no hi ha cap referència al Pirineu català.

En general no considerarem a continuació els jaciments de tipus skarn i en general aquells on la mena de ferro és la magnetita (Fe_3O_4 ; Fd3m), perquè com hem dit són menes que per a la farga catalana presenten molt poc interès, ja que en principi no són utilitzables. Però, a més, no tenen importància pràctica dins el conjunt global.

La concentració de les fargues catalanes a les valls pirinenques s'explica per la situació dels dipòsits de minerals de ferro a Catalunya. En general una farga utilitza menes situades molt a prop d'ella i normalment a la mateixa vall. Així i tot, hi ha referències de l'ús de menes llunyanes, com per exemple de mineral procedent de França, possiblement del Canigó, per a les fargues de Setcases, o de mineral procedent de Vic de Sos (Arieja) per a les fargues andorranes.

JACIMENTS A LA CATALUNYA ESTRICTA

El nombre de jaciments amb una mena utilitzable per a la farga catalana i que no són a la Zona Axial Pirinenca és molt petit a Catalunya.

Podem agrupar els dipòsits de ferro de la zona Axial del Pirineu, seguint Mata-Perelló, de la manera següent:

Grup I: Mineralitzacions filonianes situades en roques de l'edat cambro-ordovícica.

Grup II: Mineralitzacions estratiformes situades en roques d'edat ordovícica o silúrica.

Grup III: Mineralitzacions filonianes situades en roques d'edat ordovícica.

Grup IV: Mineralitzacions formant bossades en les calcàries d'edat devònica.

Grup I

Mineralitzacions filonianes situades en roques d'edat cambro-ordovícica. Les trobem a la formació Canavelles i a la formació Jújols.

A la formació Canavelles:

Al Ripollès: Queralbs (la Farga, Fustanyà, Vilamanya). Vilallonga de Ter (Tregurà de Baix, coma de Granollers, coll dels Tres Pics). Ribes de Freser (can Segura, les Farreres, Conivella, Ventolà). Camprodon (la Ferreria de Rocabruna).

A l'alt Empordà: Espolla (la font de la Verne). Maçanet de Cabrenys (Fucimanya).

A la formació Jújols:

Al Ripollès: Toses (Dorrià, Espinosa, la mina de ferro de Toses).

El jaciment primari és un dipòsit epigenètic complex, format en condicions mesotermals. Són filons que travessen materials que es consideren del càmbric i de l'ordovícic.

Com a roca encaixant actuen tant els esquistos i calcàries de la formació de Canavelles com els esquistos de la formació Jújols. El paràgraf anterior dona les principals mineralitzacions ferruginoses d'aquest grup. Però no hi consten, les mineralitzacions de sulfurs del mateix grup, més interessants des del punt de vista científic i econòmic.

En contacte amb l'atmosfera tots aquests minerals s'oxiden, i es produeix la formació de l'hematites (Fe_2O_3) i de la goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$). On s'ha produït una concentració important d'aquests minerals tenim el *gossan* o cobertora de ferro. Són aquestes mineralitzacions secundàries formades per òxids i que per la manera de formar-se són generalment molt poro-

ses, les que s'explotaven al Ripollès per a alimentar les fargues de la comarca.

Grup II

Mineralitzacions estratiformes en roques d'edat Ordovícica. Les trobem a:

Pallars Sobirà: Alt Àneu (Alòs d'Àneu, Isavarre). La Guingueta d'Àneu (Burgo, Jou, Forat de la Cadena). Vall de Cardós (bordes de Nibrós). Esterri d'Àneu (borda Enando). Lladorre (Boldis Sobirà, Lladorre, Lleret, bordes de Noarre, Pla de Boaví, Ribera de Bordils). Alins (Font roja d'Àneu, Abello, la Molinassa, borda Martí).

Ribagorça: Barruera (borda de la Mora, la Llosa, collet de Rus, port d'Erta).

Vall d'Aran: Canejan (riu Aigüetes). Alt Aran (barranc d'Araires, Rusa Purera).

Mineralitzacions estratiformes en roques del silurià. Les trobem a:

Cerdanya: Lles (Arànsers, la Llosa). Meranges (Sallent). Montellà de Cadí (Martinet).

Alt Urgell: Valls de la Valira (Ars, San Joan Fumat, Asnurri, coll de Port Negre).

Pallars Sobirà: Alins (Tor). Llavorsí (Aidí). Alt Àneu (barranc d'Estanyeres). La Guingueta d'Àneu (Estaron, Font de Ferro, Pala Llebre, borda de Tor). Sort (Llessui, barranc de la Muntanyeta, Olp).

Pallars Jussà: Cabdella (Estaiposí, Espui).

Ribagorça: Vilaller (Palanca de Ferro, coll de Fenarroí). Barruera (la Qüestió, Fonts de la Farga, Pla de Cabana, el Solà, Cremada).

Vall d'Aran: Alt Aran (Arties, Sant Martí de Gorilla). Mig Aran (Sacauba, Gausac, coll de Varradós). Arrés (Arrés de Sus). Bausen (Sa Plan). Lés (els Grauets).

Aquest grup de dipòsits de mineralitzacions estratiformes de roques d'edat ordovícica o silúrica és el més abundant a la zona pirinenca.

En la fase de sedimentació dels materials argilosos que posteriorment formaran els esquists de l'ordovicià i del silurià, hi ha unes condicions reductores i sapropèliques. És a dir, ens trobem en un medi pobre en oxigen i ric en matèria orgànica. El resultat és el dipòsit de petites capes de carbó i —el que ens interessa més— la formació de cristalls de pirita i masses de siderita.

Les condicions són variables ja que no són exactament les mateixes les que permeten la formació d'un o altre mineral. Però, de tota manera, no són massa diferents. El pH del medi varia entre 5 i 9, i el potencial d'oxidació és negatiu.

Com indiquen Garrels i Christ, usualment la siderita es pot formar en condicions o bé més oxidants, o bé més reductores que les que produeixen la pirita.

Quan les mineralitzacions ja formades es posen en contacte amb l'atmosfera, canvien les condicions, que ara són oxidants. El potencial d'oxidació esdevé positiu i es produeixen els òxids de ferro hematites i goethita. Per tant, ens trobem de nou amb una típica cobertora de ferro. En general són totes elles petites explotacions, que van ésser treballades a nivell artesanal, l'únic en el qual podien ésser rendibles, i van alimentar les fargues locals.

Grup III

Mineralitzacions filonianes en roques d'edat ordovícica. Les trobem a:

Pallars Sobirà: Alins, a Ainet de Besan (Meners Vells, Meners Nous, pic de Màniga). Alins (Collada roja). Araós (Araós). Farrera de Pallars (coma del Burg).

Alt Urgell: Valls de la Valira, a Civís (bordes de Conflent).

Són els dipòsits de ferro de més importància de tots els que trobem a la Catalunya estricta. Ells donen nom a la vall on es troben, la Vall Ferrera. Les masses mineralitzades presenten la forma de filons quasi verticals, usualment de poca potència, però molt nombrosos i encaixonats en esquistos ordovícics.

Els minerals més importants són els òxids i els carbonats, però es troben petites quantitats de sulfurs en alguns filons.

No es pot saber si els òxids de ferro són d'origen secundari i producte de l'alteració secundària o bé ja d'origen primari, ja que la mineralogènia dels jaciments no és coneguda en detall.

El conjunt de filons es prolonga cap a la part nord de l'Alt Urgell, pels municipis de Castellbò i Valls de la Valira. Però la mineralització es modifica, disminuint el contingut en òxids i carbonats i augmentant la quantitat de calcopirita, que arriba a ésser el mineral beneficiable més important. Aquests últims dipòsits, que han estat explotats, pel coure, no s'indiquen aquí.

Grup IV

Mineralitzacions formant bossades en les calcàries d'edat Devònica. Les trobem a:

Pallars Sobirà: Gerri de la Sal (mina "La Manresa"). Sort (pic de Montorroio).

Alt Urgell: Les Valls d'Aguilar (Saüquet). La Vansa (Colldarhat). El Pla de Sant Tirs (Torà de Tost).

Berguedà: Guardiola de Berga (coll de Serp). Bagà (la Mena, Pleta del Llamp, Font del Cirer). Castellar de N'Hug (barranc de Migjorn, la Creueta, la Barraca de Rus).

Cerdanya: Prullans (Ardèvol). Isòvol (Isòvol). Montellà de Cadí (Tossal de Villet, riera de Capisol, mas Molina). Bellver de Cerdanya (l'Inglà, Crotàs, Talltendre, Grau Cirera, Canals). Urús (Urús, Tossa d'Alp, Tossa de Das). Das (coma de Das, Tossa d'Alp). Alp (Tossa d'Alp).

Ripollès: Gombrèn (Montgrony).

En general són masses mineralitzades de forma irregular, si bé en alguns casos es troben en una disposició interestratificada. Els materials en què es troben són calcàries d'edat devònica. Entre uns i altres dipòsits hi ha una variació en la proporció entre el ferro i el manganès, i en alguns jaciments la quantitat de manganès és petita i no tenen importància els seus minerals. Inicialment aquestes mineralitzacions s'explotaven pel ferro i es portaven a les fargues. A la segona meitat del segle XIX, i part del segle XX, s'han explotat per beneficiar el manganès. Encara ara, si bé les mines són tancades, es considera la zona com de reserva del manganès, per al cas que un canvi en la situació econòmica en fes rendible l'explotació. Per això són citades en el *Mapa de indicios de mineralizaciones de Manganeso*.

JACIMENTS A ANDORRA

Les mineralitzacions de ferro trobades a Andorra pertanyen a:

Filons situats en roques d'edat Càmbrica, a Canillo (meners Canillo, meners de Ransol).

Mineralitzacions estratiformes en els esquistos del silurià, a Canillo (Casamanya, Font del Ferro), Ordino (mina de la font), Andorra la Vella (meners del Madriu), Sant Julià de Llòria (mener d'Aixovall).

François cita, també, una mineralització de ferro a la Solana d'Andorra.

Excepte els meners de Ransol, les altres mineralitzacions corresponen a un tipus que coincideix amb el grup II de les mines de Catalunya, és a dir, són mineralitzacions estratiformes d'òxids de ferro produïdes en oxidar-se capes de sulfurs de ferro en els esquistos silúrics.

La mineralització dels meners de Ransol (mines del Serrat) situada molt a prop de la frontera amb França, que alimentaven les fargues d'Encamp i del Serrat, té unes altres característiques que la fan diferent dels dipòsits estudiats fins ara. Són mineralitzacions de filons que tallen les calcàries i els gresos d'edat Càmbrica. Chevalier i Llopis Lladó han donat les anàlisis d'aquestes menes, que adjuntem tot seguit:

Chevalier, 1825		Llopis Lladó, 1968	
Ferro	56,56%	Òxid de ferro	61,86%
Aigua (pèrdua al foc)	16,82%	Sílice i insolubles	8,60%
Silici	3,40%	Biòxid de manganès	4,35%
Manganès	3,48%	Òxid de manganès	1,30%
Fòsfor	0,02%	Indeterminats	23,00%
Sofre	indicis		

Thos i Codina indica que les menes de Ransol donen a les fargues un rendiment entre el 50 i el 60%, la qual cosa li permet de calcular per a aquestes menes una llei del 70%. També indica que el mineral del jaciment d'Aixovall té una llei superior i que fou descobert després que paressin les fargues d'Andorra, i per això no va ésser explotat.

JACIMENTS A LA CATALUNYA DEL NORD

Respecte a les menes que es troben a la vessant septentrional del Pirineu, diu Percy:

“La regió del Sud de França és notable per la puresa i riquesa dels seus minerals. És d'on les fargues de la vessant mediterrània deuen treure el principal aliment i és on la indústria siderúrgica trobarà els elements d'èxit més segur. En efecte: els Pirineus Orientals, els Alts Pirineus, l'Arieja, l'Alta Garona, l'Aude, l'Erau empresonen el ferro espàtic, l'òxidul, les hematites brunes, els hidròxids compactes manganèsífers, la mina dolça i el ferro oligist, la majoria en jaciments molt considerables.”

Exageració de Percy o fets reals? Com veurem, el mineral de la part nord dels Pirineus té en ocasions unes característiques que el diferencien del que hem trobat a la Catalunya estricta. En canvi, en altres casos no hi ha diferències importants. Tractarem de manera separada els departaments dels Pirineus Orientals i de l'Arieja. No tractarem, en canvi, els de l'Aude i de l'Alta Garona, perquè queden allunyats de les zones pròpiament fargaires del Pirineu.

Mineralitzacions de ferro al departament dels Pirineus Orientals

I) Mineralitzacions filonianes en roques cambro-ordovíciques. Es troben a:

Vallespir: Prats de Molló (coll d'Ares, la Menera).

II) Mineralitzacions del Canigó. Les trobem a:

Conflent: Pi (Pi). Fillols (els Meners, Fillos). Clerà (pic Pradells, Sant Esteve de Pomers). Vallmanya (Vallestany, Sant Pere, les Canals, els Bigarrets, coll de Plomera, la Pinosa). La Bastida (els Menerols, Avetera). Vernet (Sant Vicenç). Saorra (Saorra, Torrent). Serdinyà (Aituà). Escaró (Escaró). Taurinyà (Balaig).

Vallespir: Comtavi (Torre Avetera, les Índies).

III) Mineralitzacions de la Cerdanya. Les trobem a:

Cerdanya: Portè (Pimorent).

IV) Mineralitzacions a les calcàries d'edat liàsica. Es troben a:

Fenolhet: Sant Pau de Fenolhet (Lesquerde). Caramany (Raseguères, la Manère).

Poden haver-hi anomalies en l'ortografia dels topònims, degudes a la diversitat de les fonts d'informació utilitzades.

A partir de les dades de L. Carez hem confeccionat un llistat, amb els principals dipòsits de ferro que es troben als Pirineus Orientals. És a dir, a les comarques catalanes de Rosselló, Vallespir, Conflent, Capcir i Cerdanya, i a la comarca occitana de Fenolhet.

Les mineralitzacions es poden reunir en quatre grups: Mineralitzacions de l'Alt Vallespir, Mineralitzacions de la Cerdanya, Mineralitzacions del Fenolhet i Mineralitzacions del Canigó.

Les mineralitzacions prop de Prats de Molló, presenten les mateixes característiques que les que trobem a l'altre costat de la frontera, al Ripò-

llès: per tant, corresponen al grup I. Són les cobertores de ferro de jaciments de sulfurs de tipus filonià, formats en una fase mesotermal, i tallen els materials de la formació Canavelles.

Les mineralitzacions del Fenolhet tenen, en canvi, un altre aspecte. Segons ens diu G. Guitard, són mineralitzacions de substitució de les calcàries del Lias.

La mina de Pimorent presenta unes característiques peculiars. Geogràficament les podem relacionar amb les dels meners de Ransol (Andorra) que són relativament a curta distància. Percy descriu la mineralització com formada per magnetita de textura compacta i una ganga argilosa manganesífera que s'altera a hidròxids de ferro.

Anàlisi de Percy de la mena de Pimorent.

	Mineral no alterat	Mineral alterat
Fe ₂ O ₃		73,60%
Fe ₃ O ₄	81,60%	
MnO ₂	3,60%	3,00%
Al ₂ O ₃	5,60%	6,00%
SiO ₂	6,00%	5,20%
Pèrdues al foc	2.20%	12,40%

De l'explotació de la mina de Pimorent J. François en fa la història des del 1624, que exposem a continuació perquè forma part de la nostra:

"El 3 de setembre de 1624, va ésser concedida pel rei d'Aragó a Pere Costa, avi de la Sra. Barutell. El 1673, una sentència del consell sobirà del Rosselló va reconèixer el Sr. Barutell propietari d'aquestes mines i, més tard, el 10 de maig de 1672, es va establir un acord amistós entre el Sr. Barutell i els habitants de la vall de Querol, en virtut del qual el Sr. Barutell va ésser reconegut propietari de les mines de Pimorent, i la població de la dita vall va obtenir el privilegi d'extreure el mineral abonant tres "sols" per càrrega de 120 kg. Des d'aquesta època, els propietaris han deixat explotar aquestes mines als habitants dels pobles de Porta i Portè, obtenint una renda anual dels mestres de les fargues que empraven el mineral. El Sr. Sans de Barcelona, propietari actual, mai no n'ha obtingut altres beneficis. El mineral és portat a les fargues d'Emcamp, de les Escaldes i de Molls (Andorra), de Fornals, Bagà, Castellà, Ribes i Bor, a la Cerdanya espanyola. En aquests últims temps, els únics habitants de Portè que l'exploten són el Sr. Josep Durand i Joan Garreta. La mina explotada per aquest darrer és l'única que té importància. Es pot estimar l'extracció anual en 720 000 kg a 0,42 francs per 100 kg sobre la mina. Els treballs realitzats fins ara són

dues galeries de 60 a 80 m cadascuna, que tallen sis capes de ferro oxidul, del qual el gruix varia de 0,40 m a 1 m.

El mineral que dóna la mina és generalment molt ric. L'enginyer Vène ha trobat que conté 90% de ferro oxidul amb ganga argilosa manganèsifera.

Jo n'he fet tres anàlisis amb els resultats:

	1	2	3
Pèrdues al foc	12,40	2,20	9,20
Peròxid de ferro	73,60	—	60,00
Òxid magnètic	—	81,60	—
Òxid roig de manganès	3,00	3,60	4,00
Alúmina	6,00	5,60	4,80
Sílice i quars	5,20	6,00	5,20
	100,20	99,00	98,40 (SIC)
Riquesa de ferro (%)	52,60	60,50	55,20
Densitat mitjana = 4,263.			

Els dipòsits del Canigó, en canvi, tenen unes altres característiques, i amb ells hem de definir un grup a part: Són mineralitzacions metasomàtiques a calcàries d'edat càmbrica.

Aquests jaciments han tingut una gran importància i han estat explotats fins el 1963. Fins i tot, quan les fargues deixaren de ser rendibles, hom va instal·lar un alt forn a Rià (Conflent) que no va poder superar la crisi econòmica del 1929.

A la taula II-a es recullen les anàlisis que publicà Percy.

Aquest autor descriu les mineralitzacions com: Varietats d'hematites associada a hidròxids i a ferro espàtic (siderita) descompostos, d'un matís bru més o menys rogenc o negrós:

1. Aituà, anàlisi de Percy.
2. Les Campas, anàlisi de Percy.
3. Escaró, *a* i *b* anàlisis de Percy, *c* anàlisi de Moresnet.
4. Escumps, *a* anàlisi de Percy, *b* anàlisi de Moresnet.

Hematites barrejada amb hidròxids manganèsífers, amb oligist:

5. Fillols, anàlisi de Percy.

Ferro oxidul (magnetita), compacte, negre i poc brillant:

6. Balaig, anàlisi de Rivot.

Ferro espàtic (siderita) de color blanc grisós:

7. Saorra, *a*, anàlisi de l'Escola de Mines. *b*, anàlisi de Percy.

8. Torrent, anàlisi de Percy.

Les Campas i Escumps no han estat identificats a les llistes de Carez i tampoc no han estat trobats al mapa francès d'escala 1:50.000.

Segons G. Guitard, les mineralitzacions del Canigó es produeixen als nivells dolomítics de la formació Canavelles com a conseqüència del procés final de formació de les roques plutòniques del Canigó. Per tant, degué ésser un procés realitzat a les fases finals del moviment hercinià.

Taula II-a. Anàlisi de menes de ferro dels Pirineus Orientals (Percy, 1864).

	1	2	3a	3b	3c	4a	4b	5	6	7a	7b	8
Fe ₂ O ₃	78,61	77,80	73,12	67,62	81,69	81,00	85,23	77,88	80,55	65,66	61,16	61,70
Fe ₃ O ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	17,45	—	—	—
MnO ₂	5,63	5,94	4,88	5,44	no dosats	5,46	no dosats	6,64	—	—	5,17	4,06
CaO	0,90	traces	0,50	12,66	0,50	4,64	0,46	0,61	—	1,50	0,16	0,21
MgO	traces	—	—	0,31	—	traces	—	traces	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	1,01	—	1,33	—	—	—	—	—
Ganga silicatada	4,02	5,96	4,84	1,12	9,66	1,34	5,73	5,08	2,00	3,66	10,08	1,34
Pèrdues al foc	10,70	9,34	9,24	13,00	7,73	7,10	7,01	11,56	—	29,00	23,05	31,95

JACIMENTS AL DEPARTAMENT DE L'AUDE

El departament de l'Aude hem dit que no el tractaríem, perquè queda geogràficament allunyat de la zona estudiada. Però farem menció solament de la seva part sud on es troben les Corberes, conjunt de serralades que es poden considerar l'extrem oriental del Pre-Pirineu septentrional.

Els materials que hi trobem són del secundari i del terciari, però hi ha un nucli de roques del primari, el massís de Mouthoumet. Aquest presenta les característiques de la zona axial del Pirineu. És com si un tros n'hagués quedat abandonat una mica més al nord.

Les altres mineralitzacions dels massís presenten forma irregular o interestratificada i es caracteritzen pel fet de presentar òxids de ferro hematites (i goethita i lepidocrocita, amb diferents òxids de manganès). Si bé Guitard i Pé-

lissonier els consideren comparables als dipòsits del Canigó, que el primer dels autors havia estudiat, Jaeger i Ovtracht (1955) i Jaeger, Ovtracht i Routhier (1956), els consideren bossades d'origen càrstic formades a les calcàries del devonià i, per tant, comparables al grup 4 dels dipòsits de Catalunya. Els autors citats demostren la relació entre els diferents dipòsits i les alineacions dels accidents càrstics de la zona. A més, com ja observàvem als dipòsits semblants de Catalunya, la quantitat de manganès és variable, encara que sempre present. En alguns llocs és baixa i la mineralització no es considera de manganès. En la polèmica d'aquests autors es fa referència a tres aspectes interessants. Un és el fet que la majoria de mineralitzacions de manganès tenen el ferro com a metall més abundant i, per tant, la classificació tecnològica de les menes depèn d'aspectes econòmics. La segona és que la característica d'aquestes mineralitzacions és que són pobres en fòsfor i riques en manganès, a diferència de la gran majoria de mineralitzacions sedimentàries, i que és un argument que utilitzen els primers autors per a negar-ne el caràcter sedimentari. I el tercer és la comparació que es pot fer amb les menes ferríferes d'Estíria (Àustria), zona on hem vist, en un capítol anterior, el desenvolupament d'una tècnica siderúrgica peculiar.

JACIMENTS AL DEPARTAMENT DE L'ARIEJA

El departament de l'Arieja és format per dues comarques occitanes: Foix a l'est, que pràcticament coincideix amb la vall del riu Arieja, i Cose-rans a l'oest, que coincideix amb la conca del riu Salat. La geologia n'és molt complicada, i es considera que és la zona de França amb un nombre més gran de mineralitzacions. A partir dels treballs de L. Carez i Laforêt, Mondiou, Cudin i Toleon, n'obtenim la llista següent:

a) *Conca de l'Arieja, a*; Ascou (Col de Pailhères, Les Ferrières), Vaychis, Albiès (Pic d'Albiès), Aston (Come de Seignac), Larcac, Château Verdun, Sin-sat, Bouan.

Mineralitzacions en materials devònics a; Lassur, Vic de Sos, Anzat, Sem (Rancié), Lercoul.

Mineralitzacions en materials del secundari a; Foix (Les Ferrières), Montegut.

b) *Conca del Salat.*

Filons en esquistos ordovícics a; Sentien (Pic de Crabère, Bentalhou). Massat (Bezole, Boatés, Piouzels, Saint Martin).

Nivells interestratificats en esquistos de l'ordovicià a; Ustou (Pic Freychet), Le Port (Outrigous).

Mineralitzacions en el Devònic a; Encourtiech (Encourtiech, Garrié), Rivérenert, Les Cabesses, Aulus (Agnecerre, Col de la Freychillière), Esplas (Brachy), Alzen (Vieux Minier, Lina, Balança, Les Fourches, Montredon), Castelnau Durban (Le Casalas).

Mineralitzacions en materials del permo-trias, a; Montels (Les Icarts, Les Andreux). La Bastide de Serou (Castelmir), Cadorcet (Moncoustan).

c) *Conca de l'Hers*, a; Montségur, Montferrier.

La mineralització del Pic Freychet i diverses de les mineralitzacions de la vall de l'Arieja (Château Verdun, Bouan, Sinsat), són oxidacions de pirites que es troben als esquistos de l'Ordovicià o del Silurià. Són, per tant, comparables a les mineralitzacions de Catalunya que hem consignat al grup II.

Per exemple, a Pic Freychet segons Laforêt *et al.*, tenim hematites i goethita interestratificades en els esquistos de l'ordovicià.

El grup més nombrós són les mineralitzacions de ferro i manganès que es troben a les roques d'edat devònica. Però a diferència de les altres zones on les hem trobades (Cerdanya, Corberes), aquí presenten aspectes variats.

Així, a Brachy la mineralització es troba en una bretxa als nivells del devònic superior; a Agnecerre és un filó entre els esquistos del devònic inferior, però en el més gran nombre de dipòsits tenim les formes en bossades i possiblement estan relacionades amb fenòmens càrstics, com és el cas dels districtes de Vic de Sos, Les Cabesses o Le Casalas.

Uns casos són perfectament comparables a mineralitzacions que ja hem trobat en altres llocs, com ara les formacions d'oxidació als esquistos ordovícics i silúrics o les mineralitzacions a calcàries del devònic amb òxids de ferro i manganès, comparables a les que hem trobat al Pirineu català del Ripollès al Pallars i a les Corberes. Altres, en canvi, corresponen a mineralitzacions de les característiques que hem trobat fins ara, si bé presenten el fet d'haver-se'n explotat el *gossan* per obtenir el ferro.

Totes aquestes mineralitzacions van ésser explotades inicialment pel ferro i posteriorment pel manganès. En aquesta fase destaca el dipòsit de Les Cabesses pel tonatge de mineral que se n'ha tret.

La taula II-b reuneix una sèrie d'anàlisis publicades per Percy a la qual s'afegeix una anàlisi publicada per Perseil. Corresponen les anàlisis del mineral de Rancié i el Pic Freychet a les publicades per Percy, i la de Les Cabesses a la publicada per Perseil.

Taula II-b.

	RANCIÉ									Pic Freychet	Les Cabesses
	Òxids					Hidròxids			Carbonat	François	Perseil
	Percy	Percy	Rivot	Berthier	François	Percy	Percy	François	Berthier		
	1a	1b	1c	1d	1e	2a	2b	2c	3		
Fe ₂ O ₃	74,00	79,00	75,00	82,20	79,10	67,00	56,00	65,00	53,50	77,60	71,50
MnO ₂	4,50	6,50	6,00	3,60	2,15	1,50	0,40	5,20	6,50	2,10	3,00
CaO	-	-	-	-	0,70	2,80	4,20	-	-	-	0,1
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	070	-	0,1
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	0,30	0,6	1,00	-	-	-	0,4
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,20
Ganga sílica	11,50	2,50	11,00	2,00	3,40	10,00	16,00	10,80	-	11,43	-
Pèrdues al foc	10,00	12,00	8,00	12,70	14,60	18,00	23,00	19,00	30,30	8,85	12,20

Aquesta informació ens permet de tenir una idea clara de la composició de les menes utilitzades a les fargues catalanes. Però hem cregut necessari de fer el control d'algunes mostres com a contrast d'aquesta informació.

* * *

Som conscients que les mostres recollides actualment poden no ésser totalment representatives del material que hom utilitzava al segle passat, ja que els meners han deixat d'ésser explotats, i sabem també que, de tant en tant, s'empraven menes de procedència més llunyana que les mineralitzacions properes a la farga.

PROCEDÈNCIA I ESTUDI DE LES MOSTRES DE LES MENES

Han estat recollits minerals de diverses zones, on és sabut que hi havia hagut fargues.

A la vall Ferrera (Pallars Sobirà). El Sr. Montaña, de la mateixa vall, va acompanyar-nos a la costa dels Meners, fins al pic de Màniga, per ense-

nyar-nos totes les boques de filons de la muntanya que havien estat explotades per proporcionar mineral a les quatre fargues de la vall. Antigament, es proveïen del mineral que trobaven a les vetes que eren a flor de terra, a la part baixa del bosc de Virós, i a mesura que aquelles s'esgotaven, sense fer galeries profundes, pujaven a una boca més alta, ja que tota la muntanya n'és plena. Les menes explotades més antigament són sobre Buiro. El pic de Màniga és tot de mineral de ferro; s'hi van excavar dues galeries que encara hi són i que tenen cadascuna una boca de sortida a la vall Ferrera, on el mineral que es treia alimentava les fargues d'aquesta vall, i una altra boca de sortida oposada, a la vall d'Urgell, d'on el mineral es portava, amb mules, fins a les fargues d'Andorra.

Es van agafar mostres de mineral a:

Font de la Canaleta, al bosc d'Ainet.

Meners vells de Buiro.

Pic de Màniga.

El Sr. Tomàs Morera (U.P.C.) va proporcionar dues mostres de mineral de la Vall Ferrera, però trobades prop d'Àreu.

A la vall de la Llosa (Cerdanya), es recolliren trossos de mineral trobats prop de les escombreres i en el camí de la farga de Can Jan, però se'n desconeix la procedència.

A Ordino (Andorra) es van extreure trossos de mineral de les vetes superficials del filó. Cal suposar que era amb aquest mineral, que tant a prop es trobava, que s'alimentava la farga d'Areny, última farga que va funcionar al Principat d'Andorra.

Es van escollir fragments de mineral de cada localització. En total:

9 mostres de la vall de la Llosa.

2 mostres d'Ordino.

7 mostres de la vall Ferrera.

La preparació de totes les mostres per a l'estudi microestructural es féu de la mateixa manera: cadascun dels fragments escollits es trencà en dues parts; una d'aquestes parts es destinà a l'estudi microscòpic fent-ne seccions adients; de l'altra part de cada fragment se'n féu pols per a l'estudi als raigs X.

De quatre mostres de la vall de la Llosa es féu l'anàlisi quantitativa per dispersió de raigs X (EDAX), amb els resultats següents

Elements	Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4
Al	10,469%	9,808%	7,381%	5,358%
Si	41,210%	46,927%	41,675%	17,585%
Ca	1,537%	2,770%	1,706%	0,565%
K	2,215%	1,353%	2,427%	0,185%
Ti	0,500%	0,343%	0,450%	—
Mn	2,430%	0,634%	0,383%	0,280%
Fe	41,634%	38,163%	45,976%	76,025%

Per difracció de raigs X es pogué constatar que el mineral de ferro, en cadascuna d'aquestes mostres, era:

1. Magnetita.
2. Magnetita.
3. Hematites.
4. Goethita.

Però, tenint en compte que a l'anàlisi quantitativa del microanalitzador EDAX, només hi entraven set elements, amb les cinc mostres de mineral restants, de la vall de la Llosa, es féu solament l'anàlisi qualitativa. Els resultats obtinguts foren:

Elements	Núm. 5	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8	Núm. 9
Al	13408	490	13711	23154	27381
Mg	1656	755	1531	2629	2738
Si	42387	19442	25071	51680	29025
Ca	986	571	899	1037	1085
K	5257	4431	5972	9059	6157
Ti	520	571	457	1453	525
Mn	62	110	42	60	89
Fe	7616	26126	5281	18190	7283

Respecte a les mostres d'Ordino, l'anàlisi qualitativa (EDAX) dels elements demostrà que eren constituïdes per: ferro, sofre, potassi, alumini, silici. La composició mineralògica, obtinguda per difracció, era: hematites i quars.

Amb quatre mostres de la vall Ferrera es féu l'anàlisi quantitativa com amb les mostres de la vall de la Llosa, amb els resultats següents:

Elements en %	Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4
Al	2,560%	2,361%	—	2,364%
Si	12,210%	7,788%	5,470%	9,266%
Ca	—	—	—	0,630%
Mn	0,680%	—	6,212%	0,731%
Fe	84,550%	89,850%	88,317%	87,006%

Amb la pols obtinguda de cada secció de les set mostres de mineral, es féu l'anàlisi per difracció de raigs X, amb els resultats següents:

Constituents						
Núm. 1	Núm. 2	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 5	Núm. 6	Núm. 7
Goethita	Goethita	Goethita	Goethita	Goethita	Goethita	Goethita
Quars	Quars		Quars			
	Hematites					

La figura II-1 pertany a una mostra de mineral de la vall Ferrera.



Fig. II-1.

Les mostres estudiades confirmen, més o menys, les dades històriques de les característiques de les menes pirinenques. També veiem que, en moltes d'aquestes, els òxids de ferro estan acompanyats, en proporció variable, de manganès.

*"Per tant, si al que em proposes m'abandonó,
temeré que és follia anar endavant.
Tu ets savi i veus millor el que jo raono".*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL III

DESCRIPCIÓ DE LA FARGA

Entre els procediments de conversió directa del mineral de ferro en ferro sòlid, tingué gran anomenada el que prengué el nòm genèric de mètode català, puix que és a Catalunya on sembla que va néixer i des d'on es va estendre a Biscaia, Navarra, l'Arieja, l'Aude, Còrsega i els Estats d'Amèrica del Nord. Els establiments destinats al treball del ferro mitjançant aquest sistema reben a Catalunya el nom de fargues.

La composició d'una farga és extremament simple: un forn o "foc" dins el qual s'efectua la conversió del mineral, una trompa i un martinet; com ens ho mostra la figura III-1.

Les referències escrites que hem trobat de les fargues, són posteriors al segle XVII. Al segle XVIII, el primitiu baix forn, quadrat o circular, fet de pedres i argila i alimentat d'aire per manxes mogudes a braç, ja havia evolucionat a un forn en forma de tronc de piràmide invertida, amb tres parets recobertes de planxes de ferro, com tot seguit descriurem. La insuflació d'aire es feia amb un aparell, molt original, dit trompa, incorporat al forn, segons sembla, a mitjan segle XVII.

La descripció de tots els elements d'una farga ja ha estat feta amb tot detall per P. Molera, en el seu *Llibre de la Farga*. Ací ens permetem tanmateix, de tornar a descriure el forn, part fonamental per a l'obtenció del ferro a partir dels seus minerals.

El forn o foc és una part característica del mètode català. Generalment és recolzat contra el mur de la fàbrica més proper a la trompa i situat a poca distància del martinet. S'havien de prendre totes les precaucions possibles perquè estigués protegit de la humitat, ja que això hauria produït una marxa deficient en el procés, i un consum excessiu de combustible.

La figura III-2 representa el "foc" d'una farga catalana: en el gresol es distingeixen: el fons, la cara de treball o "lleteirol", la cara de la tovera o

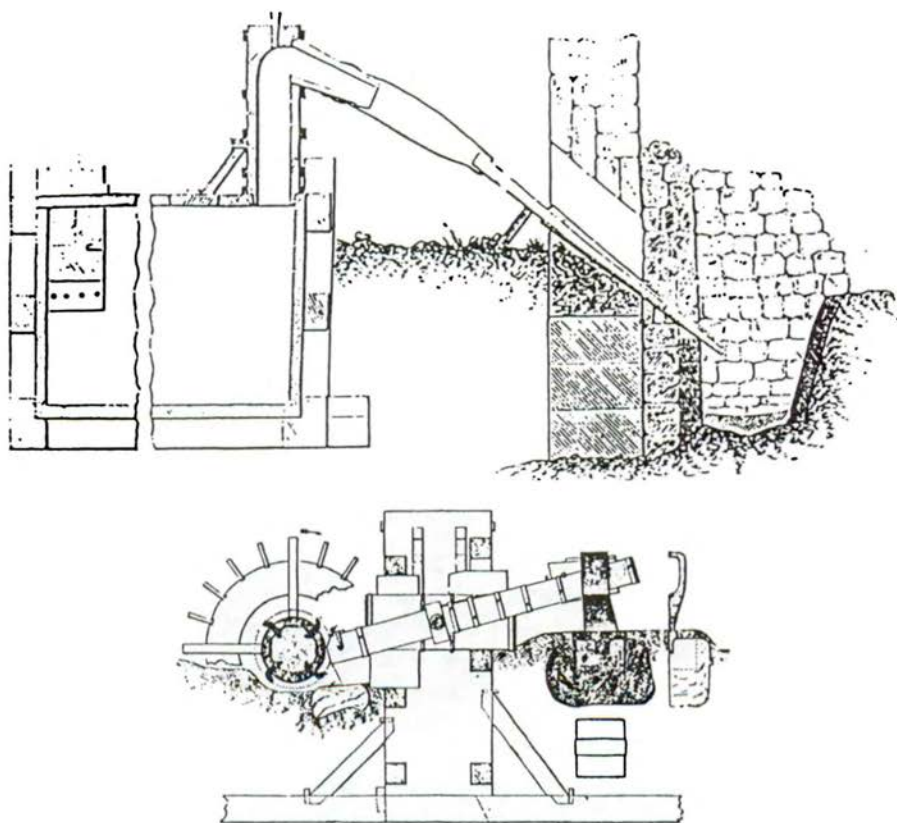


Fig. III-1.

cara de les “porgues”, la cara de la dreta dita “l’ore” o “contravent”, i la “cava” que es troba enfront del “lleteirol”. (Alguns dels noms que esmentem són els emprats fora de Catalunya, especialment a l’Arieja).

El fons del gresol (F) situat al nivell del sòl de la fàbrica, amb un canalló subterrani, no representat, per a evacuar l’aigua i així preservar el foc de la humitat, té la forma més o menys rectangular i es compon d’una pedra refractària plana o còncava compresa entre les quatre cares laterals.

La cara del lleteirol (M) dita cara del treball, és vertical, és formada per dues peces de ferro d’aproximadament 8 cm de gruix i de 15 a 20 cm d’amplada, posades verticalment, penetrant un pam en el sòl i deixant entre elles un espai buit de 6 cm que es tapa amb terra. A la part inferior del lleteirol hi ha el “chio” (H) que es l’obertura destinada a la sortida de les escòries produïdes durant el treball, i que es troba just per sobre d’una

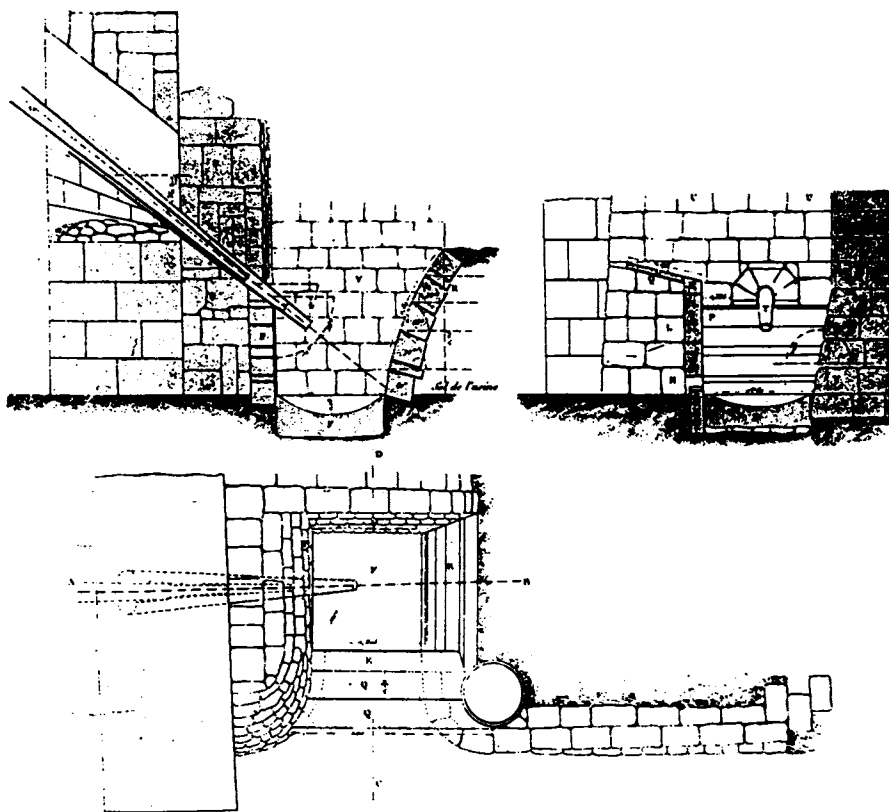


Fig. III-2.

peça de ferro encastada a terra i dita "restanca". La part superior del lleiteirol és recoberta per una forta peça de ferro, dita la "plie" (E), que serveix per a recolzar l'atiador de l'obrer que treballa en el foc i mantenir en posició les barres que formen la placa de treball, dita "banqueta" (Q); l'alçada d'aquesta per sobre el fons del gresol és l'escaient perquè l'obrer pugui retirar la massa de ferro, masser, sense gran dificultat, i recolzar-hi les tenalles que aguanten els trossos de ferro en què s'ha partit l'anterior masser, per enfonsar-los en els carbons del forn, i tornar-los a escalfar fins a la temperatura adient per a forjar-los.

Les porgues (P) són barres de ferro rectangulars de 12 a 15 cm de secció, posades les unes sobre les altres, que constitueixen la cara esquerra del gresol, per sota la tovera (T): es col·loquen contra un petit mur, dit "piec del foc" (I), interposat entre el gran mur i el forn. La part superior de les

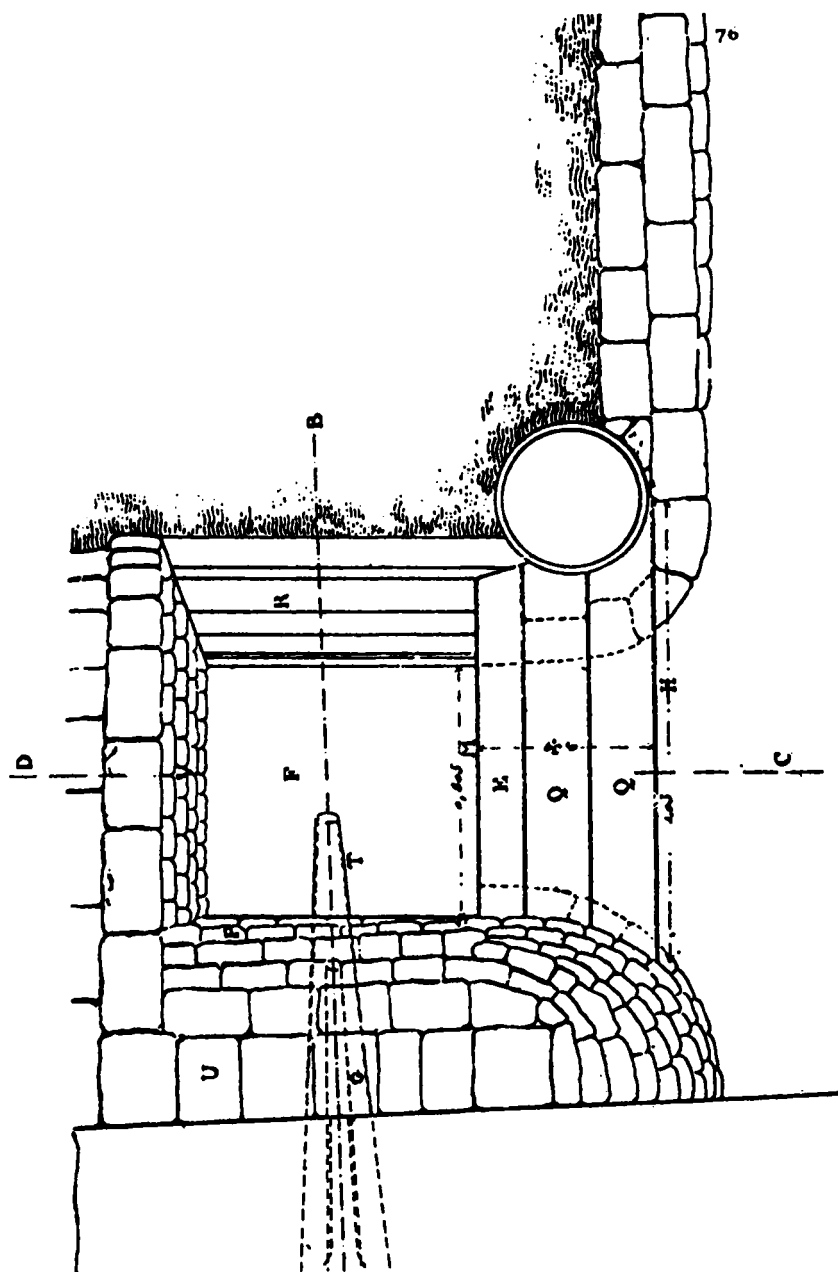


Fig. III-2. Ampliació.

porgues, que s'eleva d'1 a 1,4 m per sobre el nivell de la plie, s'anomena "paredó" (U). La tovera, en la seva entrada al gresol, no és pas al mig de les porgues, sinó que és més a prop de la cava que del lleiteirol: és el que hom en diu la seva desviació (B); a més, està inclinada cap a la cava. L'alçada de la tovera està determinada per la distància del seu eix, en el seu punt d'entrada al forn, al peu de les porgues. El canó del burro o "bursa" (G) penetra en la tovera fins a 35 o 45 cm de l'extrem.

L'ore o contravent (R), cara oposada a la tovera, és fet de peces de ferro que s'apuntalen les unes sobre les altres formant una superfície convexa cap a l'interior del foc; els seus extrems penetren a la paret.

La cava (V), cara oposada al lleiteirol, és l'únic costat del gresol que no està revestit de ferro: la seva paret, lleugerament inclinada, és feta de pedres fogueres.

Les dimensions de les diferents parts del gresol que acabem de relatar varien segons les contrades, i encara segons els forns i els fargaires que els van construir, perquè, com diu T. Richard:

"El forn català ha estat ja descrit, però les dimensions i forma han canviat amb el temps i malgrat tota la bona voluntat que jo hi he posat, no he pogut fer concordar les descripcions d'altres autors amb un sol forn dels que he visitat entre 1832 i 1836. Llevat de la descripció de Lapeyrouse. Del forn, qui l'hagi construït en donarà les dimensions segons les regles que dirigeixen la construcció d'aquest aparell. Tanmateix, un visitant que entri en el forn amb el metre a la mà i en mesuri totes les parts veurà que no s'ha seguit cap de les regles.

¿Perquè es produeix aquesta diferència entre la llei i el fet? Perquè tot es fa a cop d'ull, perquè els obrers posen un cert amor propi a no emprar cap instrument de mesura. És l'ull qui determina les inclinacions de les diverses cares del gresol, les distàncies, sovint les dimensions, etc.

Hi ha multitud de fargaires que avaluen la tensió del vent, presentant la mà a una certa distància de l'extremitat de la tovera, i si el vent fa una certa "picor" la tensió és suficient, i no ho és en el cas contrari. I aquesta "picor" els sembla una mesura tan segura com la del pesavent. Amb una tal execució hom preveu que, no obstant les dimensions teòriques generalment admeses, els forns seran diferents els uns dels altres."

També Lapeyrouse, el 1786, escriu:

"Quan un foguer entra en una farga, per bé que aquesta funcioni, demoleix el foc del seu antecessor per tal de reconstruir-lo al seu gust,

o almenys hi fa alguns canvis, principalment en el gresol, ja que ell creu que això interessa el seu honor, perquè no vol treballar sobre el punt d'honor d'un altre."

Veiem, doncs, que les dimensions del gresol varien, i per això són diferents d'un autor a l'altre. Aprofitant la informació que aquests ens han subministrat, hem fet una taula amb el conjunt de les mesures de les parts principals.

Taula III-a.

	Pelouse: segons Mouthuon 1827			Landrin: Gresols de		Flachat 1842	Regnault 1850	Levéfier 1858	Jullien 1861
Mesures en m.	Català	Navarrès	Biscaí	Gingla	Sahorre	Es remet a dades de Richard			
Alçada forn	0,43	0,69	0,72	0,81	0,87		0,70	0,80	No dona mesures totals
Lleteirol a cava									
Part baixa	0,50	0,64	0,90	0,43	0,70		0,60	0,50	
Part alta	0,58	0,96	1,28	—	—			—	
Porgues a contravent									
Part baixa	0,47	0,53	0,81	0,59	0,70		0,70	0,60	
Part alta	0,61	0,72	0,84	—	—		1,00	—	
Alçada tovera	—	—	—	—	—		—	0,25	
Inclinació tovera	0,095	0,04	0,04	—	—		—	—	
	Percy 1864	Jordan 1875	Mailfert 1878	Barinaga 1879	Gallardo i Rubió Tudurí 1930	Molera 1983	The Making, Shaping and Treating of steel. 1985		
							1er Tipus	2n Tipus	
Alçada forn	No dona mesures totals	0,75	No dona mesures totals	—	—	0,80	0,40	0,60	
Lleteirol a cava				0,61		0,60	0,50	0,75 a 1,00	
Part baixa		0,60			—				
Part alta		0,70			0,65				
Porgues a contravent				0,60		0,50	0,50	0,75 a 1,00	
Part baixa		0,55			—				
Part alta		0,67			0,60				
Alçada tovera		—		0,225	—	0,25	0,23	0,38	
Inclinació tovera		—		40°	35°	35° a 45°			

La taula següent reproduceix parcialment la de T. Richard, i correspon als diferents forns que ell va visitar.

Taula III-b. Mesures de fargues catalanes. T. Richard 1838.

		Gresol de Montgaillard 1834	Gresol de Montgaillard 1833	Gresol de Labarre	Gresol de M. Ruffié	Gresol de Niaux	Gresol de La Mouline	Gresol de La Mouline	Gresol de Lapeyrouse 1785	Gresol de Cabre segons Eng. de Mines
		m °	m °	m °	m °	m °	m °	m °	m °	m °
Banqueta	Amplada externa	1,150	1,150	1,230	1,170	1,120	1,210	1,150	—	—
	Amplada interna	0,805	0,700	0,810	0,810	0,700	0,800	0,800	0,660	0,680
	Inclinació	16°	10°	10°	10°	10°	10°	9°	—	—
	Longitud del pla inclinat	0,400	0,470	0,470	0,460	0,470	0,430	0,400	—	—
Lleteirol	Alçada total	0,590	0,500	0,500	0,520	0,600	0,680	0,620	0,540	0,530
	Amplada a la base	0,560	0,620	0,620	0,620	0,600	0,580	0,610	0,540	0,580
Pedra del fons, mesures centre	Profunditat del forat	0,080	0,120	0,120	0,080	0,000 pedra nova	0,050	0,070	No indicat	0,100
	Distància de les porgues a l'ore	0,565	0,635	0,635	0,550	0,600	0,580	0,610	0,675	0,580
	Distància del lleteirol a la cava	0,600	0,650	0,650	0,610	0,700	0,680	0,730	0,610	0,600
	Alçada total	2,000	—	—	—	2,200	2,000	2,300	1,460	—
Cava	Inclinació	80°	84°	85°	83°	84°	85°	82°	83°	80°
	Amplada a la base	0,565	0,640	0,690	0,550	0,600	0,590	0,610	0,560	0,580
L'ore	Inclinació de les peces, baix-dalt									
	Baix	82°	88°	78°	80°	87°	90°	85°	78°	90°
	Mig	65°	73°	71°	67°	76°	64°	70°	78°	68°
	Alt	57°	61°	64°	61°	68°	57°	65°	78°	68°
	Amplada a dalt	0,840	0,850	0,850	0,820	0,850	0,820	0,840	0,780	—
	Amplada a la base	0,600	0,650	0,700	0,630	0,700	0,600	0,680	0,610	0,600
Porgues	Alçada total, paredó comprès.	1,800 a 2,500	—	—	—	—	—	—	—	—
	Amplada a la base	0,600	0,640	0,660	0,600	0,700	0,680	0,710	0,610	0,600
Tovera	Inclinació	41°	41°	40°	41°	41°	42°	45°	35°	31°
	Distància al lleteirol	0,335	0,320	0,340	0,400	0,340	0,403	0,405	0,305	0,240
	Alçada	0,500-0,510	0,480	0,045	0,480	0,500	0,500	0,525	0,515	0,390
	Sorrida	0,280	0,250	0,225	0,240	0,280	0,280	0,300	0,266	0,266
	Desviació	6°	6°	0,390-0,310	5°	8°	5°	5°	0,400-0,210	10°
Canó de la bursa	Retrocés	0,390	0,430	0,320	0,350	0,330	0,270	0,510	0,460 a 0,350	—
	Diàmetre de l'orifici	0,036	0,036	0,036	0,0375	0,036	0,038	0,036	0,029 a 0,034	—
Pressió de l'aire expressada en m de mercuri		0,0812	0,0812	0,0580	0,0812	0,0632	0,0632	0,0722	No indicada	No indicada

Manera de conduir l'operació

Una càrrega de 12 quintars (487 kg), quantitat fixa de mineral que hom empra per a fer un masser, es trosseja sota el martell de la forja fins que en quedin trossos d'una mida màxima de 5 a 6 cm. El conjunt d'aquests trossos rep el nom de "mena", i la pols que queda, de "grillada". La grillada s'humiteja bé i s'apila al costat del forn. D'un bon mineral trossejat, en surt quasi la meitat de grillada.

En el forn, després de fet un masser, queda en el fons carbó incandescent i restes de l'anterior operació. Les peces de ferro de les porgues, les de l'ore i el lleiteirol, estan al roig fins a la meitat de la seva alçada. Es neteja el foc i es posa nou carbó menut que s'aixafa bé. Quan el carbó arriba quasi sota el nas de la tovera, es parteix el foc, paral·lelament a les porgues, amb una planxa de ferro, o ampla pala, a una distància de les porgues d'aproximadament dos terços de l'espai comprès entre aquesta cara i la de l'ore. A l'esquerra de la placa, s'hi apila carbó, i a la dreta es tiren unes poques paletades de carbó que s'aixafen ben fort, i a sobre s'aboca la primera caixa de mena, deixant-la caure al llarg de l'ore; s'afegeix carbó a l'esquerra i caixes successives de mineral al costat dret, fins a completar la càrrega total. Després el fargaire aixeca la placa que parteix el foc en dos. Mentre ho fa, l'inclina vers la cara de l'ore (contravent), i la mena queda formant dos talussos. El gep que és més a prop del lleiteirol es recobreix de cendra humida i es bat fortament amb una pala. Sobre la cendra es posen carbons petits i per sobre altra vegada cendra humitejada. Es donen grans cops de pala per fer el mur ben sòlid. Amb això, el carregament ha acabat, i aleshores es dóna un bon cop de vent per a engegar el foc. Tot el carregament s'ha fe en pocs minuts i queda tal com es pot veure a la fig. III-3.

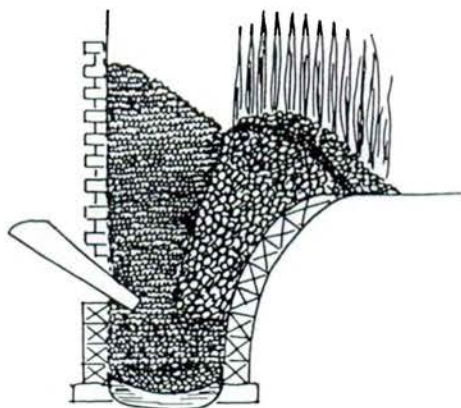


Fig. III-3.

Tot just donat el cop de vent, la part del mur de mineral no recoberta de carbó deixa fugir infinitat de flames blaves. Passen alguns minuts durant els quals es tanca el "chio" i es disminueix el vent. El pesavent ha de marcar 6° o 0,027 m (els graus són els graus que indica el pesavent i els metres corresponen a la diferència de nivell del mercuri en les dues branques del pesavent).

Remarquem aquí que, en el mètode català, el forn i el combustible serveixen, alhora, per a la fabricació d'un masser i per a l'escalfament de les parts del masser precedent, i que dos obrers són suficients per a fer aquesta doble operació.

Un cop preparat el forn, comença el procés.

Descripció del procés segons T. Richard.

"A causa del detall amb què aquest autor va efectuar la descripció del procés, la transcrivim literalment:

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m³)
	Es posa el pesavent a:	18° o 0,0812 m		
	Primer Període			
8'	S'introdueix un volum de carbó; les addicions successives que es fan mantenen constant el nivell, en la primera fase del foc.			0,253
10'	Es baixa el pesavent a:	8° o 0,0361 m		
26'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua		1	0,035
27'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		1,5	0.035
31'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		2	0.036
41'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		2	0.070
47'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		1,5	0.035
51'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		1,5	0.035
57'	Aigua.		2,5	
60'	Cistella de carbó, cistella de grillada, aigua.		1,5	0.070
66'	Cistella de carbó			0,035
	Observacions			
	El primer període ha durat 73 minuts.			
	S'han gastat en carbó 0,350 m³.			
	Densitat del carbó: 225.			
	$0,350 \times 225/73 = 1,08$ kg carbó/minut.			
	S'han insuflat en aire (fent abstracció dels primers minuts), a una tensió de 8°, 5,976 kg, aire/min. en 73 min.			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m ³)
	$5,976 \times 73 = 436,2$ kg d'aire. Dels 1,08 kg de carbó, traient el 0,12% de l'aigua i el 0,03% de les matèries incombustibles, queda: $1,08 - 1,08 \times 0,15 = 0,92$ kg carboni/minut. Per a transformar 1 kg de C en CO₂, fan falta 11,44 kg. d'aire. La trompa n'ha donat 5,976 kg, és doncs impossible que tot el C s'hagi transformat en CO₂. En canvi, per a transformar 0,92 kg de C en CO es necessiten: $0,92 \times 5,721 = 5,262$ kg d'aire. Valor molt semblant als 5,976 kg que dona la trompa. Fem abstracció de l'oxigen que donen el mineral i la grillada. Segon Període			
73'	Es posa el pesavent a: Es tira sobre el mineral una cistella d'escòries, grosserament polvoritzades, i una altra d'escories fines, en lloc de grillada.	10° o 0,0451 m		
78'	Dues cistelles de carbó, grillada, aigua.		1,5	0,070
80'	Dues cistelles de carbó, grillada, aigua.		2	0,070
88'	Dues cistelles de carbó, grillada, aigua.		2	0,070
92'	Es fa un llit de cendres per a les escòries, que es colaran més tard.			
99'	Carbó, grillada, aigua.		2	0,070
106'	Més escòries, grosserament esmicolades, com a grillada. Aigua.		0,5	
109'	Carbó, grillada, aigua		1,5	0,070
116'	Carbó, (petita cistella de "batedures" i escòries grasses). Carbó.			0,035 0,070
121'	S'obre el forat del "chio" per primer cop, es colen en plaques les primeres escòries. Són escòries pesants.			
126'	Es recullen totes les escòries pesants, que omplen dues cistelles, i es tornen al foc, a manera de grillada. S'hi afegeix carbó. Carbó, grillada, aigua.			0,035 0,035
136'	Carbó.		1	0,035
139'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
142'	S'obre per segona vegada el "chio" per tal de colar les escòries.			
	Observacions El 2n període ha durat 69 minuts.			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m³)
	S'hi han afegit 0,595 m³ de carbó, però com que el seu nivell ha pujat molt, admetem que: S'han gastat en carbó: $0,500 \text{ m}^3 \text{ o } 0,500/69 = 0,0072 \text{ m}^3/\text{min. o}$ $0,072 \times 225 = 1,62 \text{ kg. carbó/min.}$ que en carboni serà: $1,62 \times 0,85 = 1,385 \text{ kg. carboni/min.}$ A la tensió de 10°, la trompa ha donat; 6,684 kg aire/min. Per a transformar 1,385 kg de C en CO₂ es necessiten: $1,385 \times 11,44 = 15,844 \text{ kg aire/min.}$ Per a transformar-los en CO només se'n necessita la meitat, o sia 7,922. Fent abstracció de l'oxigen donat pel mineral, aquest no ha pogut transformar-se completament en CO₂ i, com a màxim, ha passat a l'estat de CO. Tercer període			
142'	La tensió del vent s'eleva a: Es "dóna la mena" per primera vegada (és fer baixar el mineral amb una pala), pel costat del lleiteirol.	14° o 0,0632 m		
148'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,070
156'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,070
159'	S'obre per tercera vegada el "chio" per colar les escòries.			
160'	Es torna a donar la mena; ara es comença per l'angle de la cava.			
164'	Carbó.			0,035
165'	Carbó, grillada, aigua.		2	0,035
170'	S'obre el "chio" per quarta vegada, i no es tanca. Carbó, grillada, aigua. Amb una pala, pel forat del "chio", s'acaben de treure les escòries.		1,5	0,070
176'	En aquest moment la flama del gresol s'emblaqueix: sembla l'esclat que adquireix el ferro quan, en els laboratoris, crema en oxigen pur. Es tanca immediatament el "chio".			
178'	Carbó.			0,035
180'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
181'	Es dona la mena al mig de l'ore, amb moviment de ventall.			
	Observacions El tercer període ha durat 42 minuts. S'han gastat en carbó 0,350 m³, que serà:			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m³)
	$0,350 \times 225/42 = 1,875$ kg carbó/min. equivalent a: $1,875 \times 0,85 = 1,594$ kg carboni/min. Per a transformar 1,594 kg de C en CO_2 es necessiten: $1,594 \times 11,44 = 18,235$ kg. d'aire Per a transformar-los en CO només es necessiten 9,175 kg d'aire. Segons les taules de vent, sota una tensió de 14°, la trompa ha donat: 7,886 kg aire/min. Fent abstracció de l'oxigen que ha pogut donar el mineral, el C no ha pogut passar a CO_2, com a màxim ha passat a CO.			
	Quart Període			
184'	S'eleva la tensió del pesavent a:	16° o 0,0722 m		
189'	Es tornen al foc les escòries més pesants de l'última colada.			
	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
	S'empeny endavant la mena. Ha deixat de fumejar i donar vapors.			
193'	S'obre el "chio" per colar les escòries, i es deixa obert.			
	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,070
	Es tanca el "chio".			
198'	El mineral és cobert de flames molt blaves.			
	Es dona la mena en l'angle de la cava i l'ore. En enfonsar la pala, surt una flama rogenca.			
	Als pocs minuts el to rogenic desapareix i es torna blau.			
203'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
205'	Es tiren, encara algunes escòries pesants al foc.			
	S'obre el "chio" i es deixa obert. La flama, pertot arreu, es torna rogenca. Es tanca el "chio" i reapareix, del costat del mineral, la flama blava.			
213'	Es torna a donar la mena. La punta de la palanca apareix revestida d'una crosta incandescent, d'un blanc brillant. Separant aquesta crosta i refredada en aigua, s'observa que és de ferro granulós, sense nervi, gris blau a la superfície. Una ratllada deixa senyal blanc brillant. Aquest ferro està completament emmotllat sobre la punta de la pala.			
215'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
219'	S'obre el "chio", les escòries es colen, la flama s'enrogeix; la del costat del mineral retorna a blava quan es tanca el "chio".			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m³)
220'	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
224'	Es dona la mena al mig de l'ore.			
	Tota la superfície de carbó incandescent de la part superior comença a cobrir-se d'una pols que és una cendra d'un color groc de sofre, això passa sempre, aproximadament, a les quatre hores.			
230'	S'obre el "chio" per colar les escòries.			
	La flama torna a canviar de color mentre és obert.			
	Carbó, grillada, aigua.		1,5	0,035
	La grillada s'ha acabat. S'augmenta la pressió.			
	Observacions			
	El quart període ha durat 46 min.			
	S'han gastat en carbó, 0,280 m³, que seràn:			
	$0,280 \times 225/46 = 1,369$ kg carbó/min.			
	Equivalents a:			
	$1,369 \times 0,85 = 1,163$ kg carboni/min.			
	Transformar 1,16 kg de C en CO ₂ , exigeix:			
	$1,16 \times 11,44 = 13,27$ kg d'aire/min, i la meitat, o sia 6,635, es transformen en CO.			
	La trompa sota una tensió de 16° ha donat:			
	8,403 kg aire/min, per tant, 2 kg més dels necessaris per a transformar tot el C en CO, i 5 kg menys del necessari per a transformar-lo en CO ₂ .			
	En el gresol queden 0,348 m³ de carbó.			
	Cinquè període			
230'	Tensió del pesavent a:	18° o 0,0812 m		
	Les flames han perdut una mica el to blavós. El carbó està pertot arreu inflammat en la superfície del gresol.			
239'	S'obre el "chio" per colar escòries. La flama surt pel "chio" amb soroll de tro. Es torna a tancar.			
244'	Es dona la mena per l'angle de l'ore i la cava, cap al mig de l'ore.			
249'	Es premsa mena i carbó de l'ore cap al mig del gresol. La flama blava apareix del costat de l'ore.			
250'	Es posa al foc tot el carbó que queda, unes 4 cistelles, i la poca grillada, escampada pel terra, es tira al damunt, formant tot un munt molt alt.			0,152
254'	S'obre el "chio" per colar les escòries.			
259'	Es dona la mena, la pala s'enfonsa molt menys que les altres vegades. El masser ocupa molt de lloc sota el carbó.			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m³)
265'	Carbó suplementari.			0,108
272'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
275'	Es dóna la mena. La calor és extrema i la resplandor, considerable. Es tira aigua al foc.		1,5	
279'	Carbó suplementari.			0,108
281'	S'obre el "chio" per treure escòries; aquestes són magres.			
295'	Es dóna la mena des de l'angle que formen l'ore i el lleiteirol, però poc profundament.			
296'	Amb l'ajut de la pala es comencen a trencar les crestes o aspreses del masser, sobretot del costat de la banqueta.			
304'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
307'	Se sonda la tovera, amb una tija de ferro, perquè el seu ull amenaça tancar-se. Queda enganxada a la tija una mena de didal de ferro tacat de coure (la tovera és de coure). Aquest didal no està emmotllat a la tija, i té dues capes ben diferenciades, d'uns 0,1 cm de gruix cadascuna, enrotllades l'una sobre l'altra, produïdes pel moviment de torsió que s'imprimeix a la tija quan el seu extrem ha depassat l'ull de la tovera.			
309'	Carbó suplementari.			0,108
313'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
319'	Es dóna la mena, en l'angle de l'ore i la cava.		1,5	
321'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
327'	Es trenquen els angles del masser i es porten cap al centre del foc els trossos que, no soldats, neden en el carbó. És a dir, comença la "balejada". Un didal de ferro s'emmotlla a la palanca; el trec, el fico a l'aigua i l'examino. És de ferro de gra gros una mica porós i sense nervi. És negre blavós.			
329'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
333'	Carbó suplementari.			0,108
338'	Es remou, amb la pala, per a trobar els trossos escampats de mineral i acumular-los sota l'extrem de la tovera.			
343'	Es trenquen les crestes del masser.			
	S'obre, encara, el "chio" per a les escòries.			
	S'escura el "chio" i per sota el masser.			
	Se segueix treballant la superfície del masser, ajuntant trossos i allisant-lo.			
	La calor és insuportable.			
	La flama s'emblanqueix amb gran esclat, bruscament.			

Temps en min.		Tensió pesavent	Aigua (l)	Carbó (m ³)
350'	S'obre el "chio" per a les escòries.			
353'	S'escura el gresol amb la pala; es trenquen les crestes del masser.			
358'	Queda una mica de carbó recobrint el masser.			
359'	S'obre el "chio" per a l'última colada d'escòries, i es deixa obert.			
363'	Es para el vent. L'operació s'ha acabat.			
	Observacions Aquesta operació ha durat uns minuts més i ha tingut més consum de carbó de l'ordinari, probablement perquè la tovera està molt gastada. El 5è període ha durat 133 minuts. S'hi han afegit 0,584 m³ de carbó; n'hi havia 0,348 i ha cremat tot. Són: $0,932 \times 225/133 = 1,351 \text{ kg carbó/minut.}$ Equivalent a: $1,351 \times 0,85 = 1,148 \text{ kg carboni/minut que necessiten } 1,148 \times 11,44 = 13,13 \text{ kg d'aire per a passar a CO}_2, \text{ i } 6,565 \text{ kg d'aire per a passar a CO.}$ Sota la tensió de 18°, la trompa ha donat, com a màxim, 8,901 kg d'aire. Es tira el canó de la "bursa" enrera i, amb l'ajut d'una pala, es descobreix el masser apartant el carbó incandescent que el cobreix. Entre el moment en què s'ha parat la trompa i aquell en què el masser ja és tombat a terra, han passat 6 minuts. Hi ha només 15 minuts d'interval entre la fi d'un masser i el començament del següent. I la durada veritable de l'operació, reducció més fusió, és de 5 hores.			

RESUM

Durant 73 minuts és insuflat aire a 8° o 0,0361 m, proporcionant 5,976 kg d'aire/minut, o en total 435,25 kg.

S'han cremat 1,08 kg carbó/minut o en total	78,75 kg
S'han transformat en gas	66,94 kg de carboni
S'han vaporitzat	9,45 kg d'aigua
Més l'aigua introduïda al foc	15,00 kg d'aigua

Fins després de dues hores de foc, o 121 minuts, no s'han fet colar les escòries.

Durant 69 minuts s'ha insuflat aire a 10° o 0,0451 m, proporcionant 6,684 kg d'aire/minut o, en total, 462,20 kg.

S'han cremat 1,63 kg carbó/minut, en total	112,50 kg
S'han transformat en gas	95,62 kg de carboni
S'han vaporitzat	13,50 kg d'aigua
Més l'aigua introduïda	13,50 kg d'aigua

És passades dues hores que es "dóna la mena" per primer cop.

Durant 42 minuts s'ha insuflat aire a 14° o 0,0632 m, proporcionant 7,886 kg aire/minut o en total, 331,21 kg.

S'han cremat 1,875 kg carbó/minut, o en total	78,75 kg
S'han transformat en gas	66,94 kg de carboni
S'han vaporitzat	9,445 kg d'aigua
Més l'aigua introduïda	8,00 kg d'aigua

La pols groga apareix després de 3 ¼ h. de foc.

Durant 46 minuts s'ha insuflat aire a 16° o 0,0722 m, proporcionant 8,403 kg d'aire/minut, en total, 386,54 kg.

S'ha cremat 1,37 kg de carbó/minut, o en total	63,00 kg
S'han transformat en gas	53,55 kg de carboni
S'han vaporitzat	7,56 kg d'aigua
Més l'aigua introduïda al foc	9,00 kg

Tot el mineral ha desaparegut sota el carbó a les 4 hores de foc; després de les 4 h 10 minuts, no queda més grillada.

Durant 133 minuts s'ha insuflat aire a 18° o 0,0812 m, proporcionant 8,901 kg d'aire/minut, o en total 1.183,83 kg.

S'han cremat 1,351 kg de carbó/minut, o en total	209,70 kg
S'han transformat en gas carbonós	178,27 kg
S'han vaporitzat	25,16 kg
Més l'aigua introduïda	6,00 kg

RESULTATS

Durada: 363 minuts o 6 hores 3 minuts.

Aigua vaporitzada 106,62 kg.

Pes d'aire total proporcionat per la trompa . 2.800,03 kg

Pes mitjà d'aire per minut 7,71 kg

Carboni total passat a l'estat de gas 461,32 kg

Carboni per minut, valor mitjà 1,27 kg

que per passar a l'estat d'òxid exigeix 7,264 kg d'aire atmosfèric.

Carbó cremat 544,7 kg

Algunes hores després, el masser ha proporcionat 151,6 kg de ferro en barres, provinent dels 487 kg de mineral.”

Revisant l'explicació anterior, es comprèn la forma tan peculiar de col·locació dels fragments de mineral i la seva conducció gradual cap al foc, mentre la grillada és introduïda a intervals, alternant-la amb el carbó. A causa d'aquestes combinacions, els productes gasosos de la combustió estan obligats a travessar el mur del mineral, que no oposa resistència a llur pas. L'òxid de carboni redueix la mena abans que aquesta caigui al fons del gresol. El mineral perd l'aigua combinada a una temperatura relativament baixa i es torna porós, fissurat i, per tant, permeable al gas. És per aquesta raó que els òxids hidratats són molt estimats en el tractament directe. La reducció s'opera, doncs, gradualment, en el mur del mineral de baix a dalt, i entre aquests límits es trobaran tots els graus de reducció des de ferro metàl·lic fins a mineral en brut.

Mentre la mena baixa en el forn, el munt de mineral sotmès a l'acció de l'òxid de carboni es va reduint, sense ablanir-se suficientment per a caure al fons del gresol. En la part baixa la mena, completament reduïda, està exposada a una temperatura considerable, s'amolleix i cau al fons del gresol, mentre les matèries terroses que conté, la sílice i una part de l'òxid de ferro no reduït, es combinen per tal de formar les escòries, i el ferro que procedeix de la reducció del mineral s'aglutina formant una massa. Aquesta massa quan és encara al roig, és sotmesa als cops repetits del pesant mall, que fa expulsar les escòries i forma la massa compacta de ferro o masser.

La grillada, a l'estat de pols grossera, presenta una gran superfície a l'acció reductora del corrent ascendent d'òxid de carboni i del carbó incandescent amb el qual està en contacte. Es redueix, doncs, ràpidament i els nòduls de ferro metàl·lic que en resulten baixen i s'ajunten al fons del gre-

sol, abans que sigui obtinguda de la mena cap partícula de ferro, formant una capa prima a la qual es van adherint les partícules metàl·liques que cauen de la mena reduïda i amollida. Aquest nucli que es forma, és anomenat "principi del masser".

T. Richard, per comprovar l'estat del mineral dins el forn en el transcurs de l'operació, va fer cinc focs: va parar el primer, passada una hora de treball, el segon passades dues hores, i així successivament.

Els resultats que va obtenir els va confirmar fent un estudi amb dos altres forns que, com diu ell "per feliç accident" va poder obrir; el de la forja de Saint Pierre a les tres hores de funcionar, i el forn de Niaux que va obrir a l'hora i mitja de treball. Refredats els focs, va recollir de dalt a baix els fragments de mineral en el costat de l'ore, i els de grillada, de l'altra banda.

Els resultats de les set "autòpsies" es refereixen a tres períodes principals: 1r, des del començament de l'operació fins al moment en què l'obrer "dóna la mena" per primera vegada; durada de 142 minuts; 2n, des que finalitza el primer, fins al final de la quarta hora; 3r, des del final de la quarta hora fins a la fi de l'operació.

Fent l'anàlisi de la descripció anterior, podem dir:

Primer període: Abans que acabi la primera hora, tots els fragments de mineral s'han tornat magnètics, tan més com més profunds es troben, i llur aspecte ha canviat, i s'han fet tendres, trencadissos, d'un color negre blavós, i els de la part inferior del mur comencen a unir-se. Una mica més tard, aquests fragments s'aglutinen (és quan els obrers diuen que la "mena està agafada") i va progressant l'aglutinació de baix a dalt. L'operari espera sempre, per "donar la mena", que aquesta aglutinació tingui lloc, almenys a les parts inferiors. Això exigeix dues hores. Les parts inferiors del munt de mineral s'amolleixen i hi ha com un relliscament de les capes inclinades situades del costat de la tovera sobre les capes més properes a l'ore. Els fragments de mineral aglutinat estan fortament enganxats per les cares. Entre alguns fragments es distingeix una matèria que s'ha fos i que li serveix de ciment; aquest ciment és semblant a l'escòria.

La massa aglutinada és molt magnètica.

A les dues hores, quan es destapa el "chio" i es fan colar les escòries, molt sovint es cola amb elles ferro fos i se'n colaria més si no es fes avançar el mineral que s'aglutina cap a la tovera, on es realitza la seva descàrburació.

Quant a la grillada, des del començament s'ha tornat magnètica i tots els fragments han començat a reduir-se. Però hi ha una diferència entre el mineral i la grillada, perquè aquesta porta traces de fusió tant més evidents com més profunda és, i en arribar al fons del gresol forma el "principi del masser", espècie de copel la aplanada que ocupa tot el fons del gresol, for-

mada exteriorment per grillada fosa i petits fragments de carbó. Aquesta crosta externa és interiorment plena d'una matèria esponjosa, cavernosa, semblant a les escòries, però molt magnètica, i es distingeixen en les seves anfractuositats una multitud de punts brillants i, sovint també, una gran quantitat de grans de fosa. Aquesta espècie de copel·la té aproximadament la forma i les dimensions de la pedra del fons del forn i contribueix a impedir que aquesta es cremi.

Segon període: Des que l'operari "dóna la mena" per primer cop fins que tota la grillada ja és al foc i tot el mineral ha desaparegut sota el carbó.

El munt de mineral s'ha enfonsat una mica i forma una curva còncava a la tovera. Tot l'angle entre el fons del forn i l'ore és ple de mena aglutinada que es va soldant; la corba de mineral forma com un pla inclinat sobre el qual la grillada en fusió, a mesura que va al fons, rellisca, reunint-se més cap al costat de les porgues que cap al de l'ore; així, la part de la massa situada en aquest costat es trobarà sempre menys avançada. El vent de la tovera, actuant sobre el centre de la massa que ocupa el fons, escampa les escòries, formades per la grillada en fusió, cap a les porgues, la cava i el lleiteirol, i remunta el mur del mineral. Poc a poc la massa del fons s'endureix, i depura. Es diria que sua les matèries no metàl·liques barrejades amb el ferro. I la massa del fons va creixent.

Quan l'operari va a "donar la mena" per segona vegada, es pot dir que tot està com la primera vegada, però, en lloc d'un principi de massa en forma de copel·la, en el fons ja hi ha un començament de masser, on la depuració marxa molt ràpidament.

Sobre aquest masser, poc desenvolupat, es recolza i solda, del costat de l'ore, el mineral aglutinat, i sobre d'aquest encara es troba mineral molt magnètic però no aglutinat.

A les tres hores ja no es carrega més grillada al forn. Aquesta recobreix la massa de mena reduïda, menys en el centre, i es diria que està destinada a rentar el masser de les matèries estranyes que sua.

Al final de la quarta hora, quan tot el mineral ha desaparegut sota el carbó, que forma un immens braser inflammat, hi haurà al fons un enorme masser no acabat que és extremament magnètic. És de ferro, però les partícules no estan encara perfectament soldades les unes a les altres en les capes superiors. Tota la massa, i la part superior sobretot, conté encara matèries estranyes en fusió que traspuen a poc a poc.

Tercer període: les dues últimes hores. En aquest període sembla que no es presenta cap fenomen important, i està destinat solament a deixar suar el masser, i permetre-li, sota l'acció d'una gran calor, reagrupar les seves partícules, tot expulsant les matèries estranyes. En aquest període, les ales (o apèndixs) del masser no acabat desapareixen durant la "balejada".

La inclinació de la tovera, la de l'ore, la seva distància a la tovera, la disposició atrevida de la càrrega i fins la quantitat de vent, tot sembla calculat pels antics inventors del mètode directe a fi que els gasos reductors i carburants neixin entre l'extrem de la tovera i el peu de la càrrega i remun- tin a través dels intersticis de la pila de mineral. Això explica també la ne- cessitat de cobrir amb cendra humida el talús intern del munt de mineral.

Descripció del procés segons J. François

A causa de l'extensió de l'explicació donada per aquest autor, aquí fa- rem un resum del que hem considerat més important per a la comprensió del procés.

François ha dividit el foc en diferents regions corresponents a les reac- cions que s'operen en cada una d'elles, i encara que les línies divisòries, en la realitat, són lluny d'ésser constants (fig. III-4) i varien entre límits molt grans, segons l'estat del foc, la natura del mineral, del carbó i del vent, les zones ideades per François s'aproximen força a l'estat normal d'un foc en bona marxa.

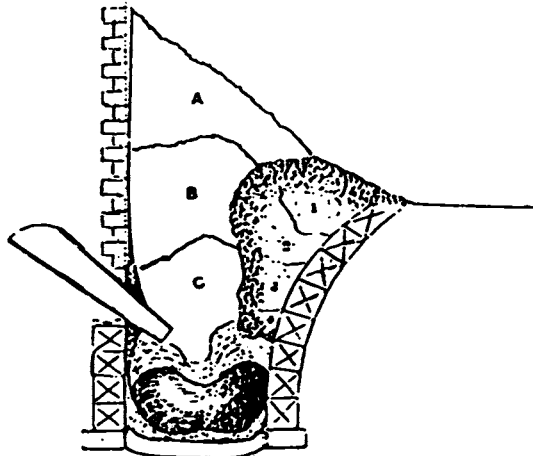


Fig. III-4.

L'autor dona dues anàlisis de minerals tractats avantatjosament a les fargues.

	1	2
Sesquióxid de ferro	65,50	64,00
Peròxid de manganès	3,00	6,20
Calç	5,00	3,50
Magnèsia	0,45	0,80
Alúmina	1,30	1,20
Sílice	11,40	10,50
Aigua i pèrdues per la calcinació	13,20	14,50
	99,85	100,70
Riquesa en ferro per cent	45,87	44,82

La pila de mineral queda dividida en quatre regions, en les quals tenen lloc les reaccions següents:

Regió núm. 1

L'operació dominant és la calcinació. En la part superior el mineral és en fragments independents, i té la forma, però no el color i la textura, del mineral en brut. El color ha passat de roig-ocre a negre blavós, lleugerament metàl·lic. La textura és més compacta, però la superfície de cada tros és plena de fissures i escletxes que penetren a l'interior, i tots els fragments són magnètics.

La capa d'òxid magnètic es manifesta primer a la superfície del mineral i a les parets de les escletxes i va augmentant de gruix cap a la part més baixa de la regió. La flama en aquesta regió és d'un groc blavós i arrossega partícules de carbó que, al contacte amb l'aire, produeixen guspíres. L'anàlisi d'una barreja de fragments d'aquesta zona, dona:

Sesquióxid de ferro	49,21
Òxid magnètic	26,95
Òxid bru de manganès (Mn_3O_4)	4,12
Calç i magnèsia	6,00
Argila i quars	12,55
Pèrdues al foc	1,05
	99,88

La seva densitat és de 4,545 (la del mineral cru era de 3,650).

La temperatura de la superfície s'estima en 400°C, i la de la part inferior d'aquesta regió en 600° C.

No hi ha gaire més sílice combinada que en el mineral cru. Els carbonats no han perdut encara l'àcid carbònic, i el peròxid de manganès no es troba totalment a l'estat d'òxid roig.

Regió núm. 2

S'observen principalment fenòmens de reducció dels òxids, i els pinyols de mineral es revesteixen d'una pel·lícula de ferro metàl·lic, que es fa molt visible quan es trenquen i que mesura de 0,1 a 0,3 mm de gruix. En el microscopi es veu que aquesta pel·lícula és constituïda per una agregació confusa de partícules de ferro i matèries incompletament escorificades. La pasta de dins dels pinyols, sota la pel·lícula, és d'un negre blavós, lleugerament vitri, d'aspecte greixós i textura rugosa.

Trencant els pinyols es veuen, banyades per la pasta interna, les traces de les principals fissures, així com les parts metàl·liques que recobreixen les parets.

A la part baixa, a una temperatura de 700 a 800° C, la sílice comença a combinar-se amb les bases per tal de formar els silicats. Dues anàlisis fetes als productes d'aquesta regió, donen:

	1	2
Ferro metàl·lic	1,04	4,15
Sesquióxid de ferro	22,91	11,23
Protòxid de ferro	59,21	60,83
Òxid de manganès	4,02	5,50
Calç i magnèsia	5,21	9,93
Argila	4,55	
Sílice combinada	2,10	8,47
	<u>99,04</u>	<u>100,11</u>
Densitat núm. 1 = 4,695	Densitat núm. 2 = 5,250	

La núm. 1 prové de la part mitjana de la regió 2, i la núm. 2 de la part inferior d'aquesta regió.

Els gasos d'aquesta regió tenen un color blau suau a causa del monòxid de carboni, i contenen diòxid de carboni però en menor quantitat que

a la regió 1. La flama està carregada de partícules de carbó. La quantitat de carbó que pot ésser arrossegat en pols fina és tan gran que forma en els sostres de les forges una capa de més de 0,15 m de gruix i queda sospesa en estalactites en el mur del forn, per sobre el costat de les porgues.

En la regió núm. 3

Té lloc l'escorificació i liquació de terres, una reducció més activa i un començament de carburació. Els fragments de mineral se solden entre ells pels angles. La pel·lícula metàl·lica es desenvolupa i converteix en autèntic embolcall, amb un gruix d'uns 2 mm. La part interna presenta una massa pastosa, totalment escorificada i inflada, sobretot, al veïnatge de l'embolcall metàl·lic. Al nivell més baix d'aquesta regió, on la temperatura sembla que és d'uns 1.000-1100° C (taronja fosc), tots els fenòmens descrits marxen amb rapidesa, i els pinyols i llurs embolcalls es deformen i s'arrodoneixen. Partint-los en dos, s'observa sempre una massa escoriàcia, no metàl·lica, compresa en un embolcall mal·leable, gris suau, que té sovint l'aspecte i el gra de la fosa blanca (a, a, a, fig. III-5). Es pot considerar un ferro acerós, tacat per matèries escoriàcies, sovint cristal·lines. La superfície exterior és maculada per gotetes d'un groc brut, que traspuen a través de l'embolcall per porus visibles amb la lupa i de vegades també directament (c, c, c, fig. III-5). La superfície interior de l'embolcall és rugosa, coberta d'apèndixs estalactiformes, ramificats, de ferro metàl·lic, que indi-

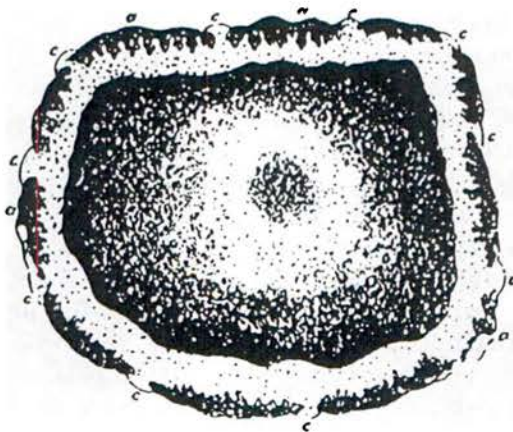


Fig. III-5.

quen que l'embolcall es nodreix i creix mitjançant el ferro que pren a la massa interna. A mesura que aquesta s'elabora, dona d'una part ferro, que s'uneix als apèndixs metàl·lics i, d'altra part, les escòries que exsuden en gotes a la superfície. Aquesta massa, carregada de granalla microscòpica de ferro metàl·lic, va transferint-los als apèndixs dendrítics, a mesura que s'opera la reducció. Aquesta pasta interna, escoriàcia, carregada de granalla, és plena de cavitats esfèriques microscòpiques, tant més nombroses i grans com més a prop es troben de la superfície. Aquestes cavitats testimonien la penetració dels productes gasosos.

Anàlisi de la part interna d'un tros del producte d'aquesta regió:

Densitat mitjana: 4,699

Sílice	27,50
Protòxid de fer	41,20
Protòxid de manganès	11,65
Calç	9,60
Magnèsia i alúmina	2,50
Partícules metàl·liques	7,55
	100,00

L'embolcall metàl·lic és de ferro acerós, barrejat amb un 30% d'escòries. La seva densitat és de 5,540 a 5,941. Les escòries associades són normalment cristal·lines, consistents en un silicat tribàsic. Les escòries de l'interior de l'embolcall metàl·lic són semblants a aquelles, però carregades de granalla i dendrites microscòpiques de ferro.

Els gasos, en la regió 3, han cremat amb flama blava, d'òxid de carboni, i contenen molt poca quantitat de diòxid de carboni.

A la regió 4, on la temperatura s'estima entre 1.200 i 1.300° C (blanc-taronja), la reducció, la liquació de terres i la carburació s'efectuen simultàniament i amb gran activitat. Els fragments es deformen, s'aplanen, les matèries escoriàcies se separen per liquació, mentre les partícules de ferro disperses entren en contacte i se solden. És llavors que, posades sota la tovera, les parts reduïdes se solden al masser, travessant el bany d'escòries que el cobreix. Remarquem que les escòries del bany són bàsiques, però tenen la tendència a convertir-se en neutres. Així, les parts metàl·liques carburades al contravent, experimenten en el bany d'escòries una ràpida descarburació, provocada per l'excés d'òxid de ferro d'aquestes que, alhora, es redueix. A la part baixa de la regió, la major part dels embolcalls estan ja soldats fortament.

Anàlisi dels embolcalls metàl·lics a la regió núm. 4:

	1	2	3	4
Densitat	6,141	6,215	7,063	7,350
Ferro metàl·lic	76,095	78,675	83,100	87,920
Escòries	23,100	20,400	15,620	3,010
Carboni	0,605	1,055	1,250	1,600

La mostra 1 ha estat presa d'un foc funcionant per a ferro dolç ordinari. Les mostres 2 i 3, preses en la part inferior de la regió 4, d'un foc funcionant per a ferro fort. La carburació està molt avançada en aquests fragments de ferro, i això es troba, sobretot, quan no hi ha més nuclis interns per a reduir, i per tant, més silicat bàsic que pugui, per la reducció d'una part del protòxid, cedir el seu oxigen al carboni combinat. La mostra 4 també pertany a la part inferior de la regió núm. 4, d'un foc lent i sostingut.

Els gasos d'aquesta regió han cremat amb flama blava d'òxid de carboni, i només contenen traces de CO_2 .

Quant a la part de la càrrega de carbó i grillada, també ha estat dividida en regions: A, B, C.

A la regió A dominen la calcinació i la reducció. La regió B, que arriba fins a 0,50 m de la superfície, és marcada pels fenòmens de reducció i escorificació. Aquí tots els trossos de carbó empastats per la grillada, ablanida per la formació de silicats, es recobreixen d'una pel·lícula metàl·lica de ferro, la cara externa de la qual és entapissada de cristalls de silicat tribàsic, i la liquació s'opera invariablement a l'estat de silicat. A la regió C, que comprèn el bany d'escòries, es produeixen la reducció i la liquació. Les pel·lícules metàl·liques, quan arriben a la part baixa, s'amolleguen i es solden entre elles o als fragments metàl·lics baixats del contravent, i van a engrossir el masser. La calor, sota el vent de la tovera, és del blanc soldant, és a dir $1.400-1.500^\circ \text{C}$.

Encara que la reducció i fusió de la grillada sigui molt ràpida, és incompleta, ja que les primeres colades d'escòries estan sempre més carregades de ferro que el silicat tribàsic, i per això es tornen al foc. Una escòria tan fortament bàsica produirà una acció descarburant sobre el ferro que hagi fixat carboni, i aquest carboni redueix en l'escòria una proporció equivalent de protòxid de ferro, formant òxid de carboni.

ALTRES AUTORS

Repasades les observacions i deduccions d'aquest dos autors, Richard i François, que van viure encara el procés català i van poder estudiar-lo directament, podríem ja fer la síntesi del procés. Preferim, tanmateix, de fer constar abans que, per més que la majoria d'estudiosos de la farga contemporanis als dos autors esmentats es recolzen en ells en totes llurs explicacions i, basant-se en comprovacions pròpies, les donen molt similars, alguns altres fan una descripció que presenta diferències amb les de Richard i François. Així, hi ha qui explica que la farga es carregava en capes alternades de carbó i mineral (Camprodon *et al.*) o que la massa reunida en el fons del forn era aixecada davant la tovera, durant uns pocs minuts, per tal d'escalfar-la molt i fondre i separar-ne l'escòria (Rhead), cosa que es fa certament en el forn del foc d'afinatge, però no en la farga.

On apareixen més diferències és en la interpretació del procés. Regnault explica l'operació com una reducció parcial del mineral, amb formació de ferro metàl·lic i òxid ferrós, que es combina amb la ganga donant silicats molt fusibles. Aquest autor diu que, a les cinc hores del procés, tot el mineral ha baixat al fons del gresol i l'operari reuneix els fragments de ferro esponjós.

Queda clar que la descripció és modificada i alhora interpretada d'una manera parcial.

Un altre exemple es troba al "Dictionnaire de Chimie pure et appliquée", que quan descriu la teoria de l'operació, diu que el mineral de ferro és reduït pel monòxid de carboni. "Les particules de ferro reduït s'aglutinen en una massa esponjosa que es retira del foc i es porta al martell per extreure'n l'escòria". En canvi, quan parla de la grillada, diu: "aquesta té la finalitat de protegir els nuclis de ferro reduïts i carburats, contra l'oxidació i la descarburació".

En canvi, J. Rodríguez Alonso considera que, a la farga catalana, s'obté acer, directament dels minerals de ferro.

En general, es pot dir que, amb el temps, els autors deixen de considerar dos fets acceptats pels autors més antics: que el ferro es carbura en una part del forn, per descarburar-se posteriorment i que, si bé només en part, arriba a fondre's.

Ara bé, Durrer explica que el procediment d'obtenció del ferro, per les fargues, proporcionava ferro pastós. Aquest es produeix quan la temperatura a què té lloc el procés ultrapassa la de la fase sòlida i el ferro resultant queda en estat plàstic, és a dir, una barreja de cristalls de ferro amb ferro líquid. Per raó de les temperatures de treball, el grau de reducció, en beneficiar el mineral en forma de ferro dolç, queda comprès entre el que correspon a l'esponja de ferro i al ferro colat.

Sembla, per això, que molts autors transcriuen bé o malament, sense una observació directa, allò que ha estat explicat pels altres. I com més ens allunyem del temps en què les fargues funcionaven en tota la seva esplendor, llurs descriptors en retallen el procés fins a convertir-lo en una reducció parcial, contradient allò que ells mateixos reconeixien: que de la farga sortia ferro acerós. Per tal de salvar aquest obstacle, avui s'explica que quan el masser acabat queda al fons del forn, si es vol tenir acer, se'l deixa reposar envoltat de carbons que cimentaran la seva capa externa. Això pot ésser, però no era solament aquesta la forma d'obtenir el ferro acerós.

Rendiment en ferro

Per a avaluar el rendiment en ferro de les fargues, podem considerar els resultats de l'anàlisi del mineral fet per T. Richard:

Sesquiòxid de ferro	62,474%
Peròxid de manganès	6,213%
Calç	2,790%
Magnèsia	0,545%
Alúmina	1,014%
Sílice	14,715%
Aigua	12,112%
Pèrdues al foc	0,137%
	100,000 %
Riquesa en ferro	43,752%

Si la riquesa del mineral és del 62% de Fe_2O_3 i, per tant, la riquesa en ferro metàl·lic és del 43%, en 487 kg de mineral hi ha 213 kg de ferro. Si s'han obtingut 152 kg de ferro, el rendiment és del 71%.

No és certa, doncs, la hipòtesi segons la qual un dels motius que va obligar a tancar les fargues era el baix rendiment del seu mètode, per la gran quantitat de pèrdues que hi havia.

J. Percy ha escrit: Després dels estudis fets sobre el rendiment del mineral a les fargues de França, Espanya i Itàlia, es poden deduir els fets següents:

Els de Rancié (França) tenen un rendiment del 30 al 33%, per a una riquesa del 43 a 45%.

Els minerals de Somorrostro (Espanya) rendeixen del 30 al 33%, malgrat llur riquesa del 46 a 49%.

Els de l'illa d'Elba (Itàlia) rendeixen el 50% en ferro, amb una riquesa del 65%.

Però el problema de la farga catalana no era un problema de poca efectivitat del mètode emprat, sinó un problema de costos empresarials i de tonatge de producció.

SÍNTESI DEL PROCÉS

Es pren l'òxid de ferro a l'estat de mineral, més o menys pur; per a obtenir el metall, produir la seva reducció i la transformació de les impureses en silicats fusibles, es necessita una energia que és subministrada per la combustió del carbó de llenya.

S'opera la combustió i la reacció química en un mateix aparell (recorrem que això es fa quan els minerals són molt rics i fusibles). Aquest aparell ha de tenir un fons tancat per tal que el metall, més pesant que tota la resta, s'hi concentri, i com que el seu volum és més petit que el de les primeres matèries que el porten, l'aparell tindrà la base més reduïda que la superfície; o sigui una forma de tronc de piràmide invertida.

L'oxigen necessari per la combustió caldrà aportar-lo, i això es farà per mitjà d'una tovera alimentada per una màquina de vent.

La reacció no pot tenir lloc si no s'aconsegueix una alta temperatura. Per tal d'obtenir-la es fa el carregament del forn tal com ha estat indicat. Quan la combustió és suficientment viva, comencen dues reaccions: d'una part l'òxid de ferro es redueix a l'estat metàl·lic mitjançant el monòxid de carboni provinent de la combustió de carbó: de l'altra, els silicats que es formen es liquen i baixen a la part inferior del cup. Mentre el metall és sòlid, queda barrejat, a les regions superiors, amb les parts sòlides del mineral. Se li presenta un sol mitjà de separar-se'n: amollir-se o fondre's. I això, gràcies a la tovera i al combustible que hi ha a la part inferior del gresol, és ben fàcil, perquè la temperatura pot elevar-se fins al punt de fusió de l'acer. Gràcies a l'excés de carboni que envolta l'òxid, aquest passa ràpidament a ferro, després a acer, primer sòlid, a continuació pastós. Podria, també, convertir-se en fosa, si no fos que, quan s'escorre cap a les regions inferiors del gresol, troba el corrent d'aire de la tovera que deté la reacció de carburació. A més, la velocitat de baixada, quan és fos, no li permet saturar-se de carboni.

Però la baixada dels silicats no pot fer-se sense que s'emportin una forta proporció d'òxid de ferro, que és el que els dona fluïdesa. Quan l'acer troba aquestes escòries en el fons del gresol, no tarda a descarburar-se, retenint més o menys quantitat de carboni.

Podríem resumir-ho tot dient que el tractament del mineral de ferro en la farga catalana difereix del tractament en l'alt forn en què, en la farga, quan es transforma en acer es cola en un medi descarburant que el converteix en ferro, mentre que en l'alt forn continua en contacte amb el carboni i es converteix en fosa.

LES FARGUES DEL PIRINEU I LLURS PRODUCTES

Adjuntem un plànol de les fargues del Pirineu Català, reproducció de l'exposat en el llibre d'A. Gallardo i S. Rubio, publicat amb motiu de la instal·lació d'una farga catalana a l'Exposició de Barcelona de 1929.

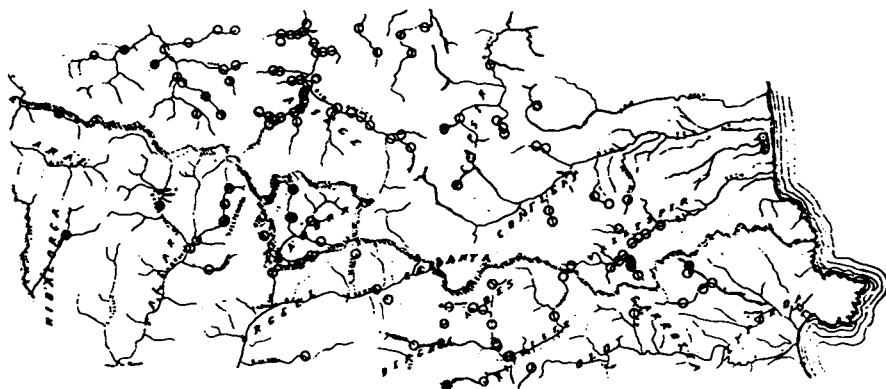


Fig. III-6. Mapa del Pirineu des de la Vall d'Aran fins al mar, on ha estat marcada amb petits discs la situació de les fargues.

El plànol mostra una semblança amb la distribució del mineral de ferro en el Pirineu feta en el Cap. II.

Aprofitem per a repetir aquí el que diuen els citats A. Gallardo i S. Rubio:

“Un cop vista la farga en els seus aspectes tècnic i històric, tan sols ens resta fer conèixer els llocs on hi ha hagut memòria de l'existència d'alguna d'elles. Fóra obligat i molt interessant de donar primerament una ullada a la distribució dels minerals de ferro del nostre Pirineu, abans d'assenyalar els llocs de llur aprofitament i transformació”.

El mètode d'obtenció directe del ferro, va trobar en l'àrea geogràfica pirinenca les condicions òptimes per a un desenvolupament tal que li valgué durant molt de temps una reputació d'alta qualitat. Aquestes condicions, ja hem dit que eren: abundància d'aigües vives per a proporcionar, mitjançant la trompa, un corrent d'aire sostingut; grans extensions de bosc, per a produir el carbó de llenya necessari per a la combustió; i mines de ferro amb un mineral de les característiques apropiades per a l'èxit del procés.

Al principi del segle XIX, es comptaven quasi 150 fargues sobre les dues vessants del Pirineu. Dralet, gran mestre d'Aigües i Boscos, les repartia així: 77 en el Pirineu francès (41 a l'Arieja i 36 entre el Rosselló i l'Aude), 41 a Catalunya i 5 a Andorra.

El masser obtingut proporcionava dos tipus de ferro:

1. El ferro lleugerament acerós, excel·lent per a treballar al martell i per a la cimentació.

2. L'acer natural, dit ferro fort, de trencadura blanca. Amb una varietat, el ferro cedat, de trencadura negra i violada, de qualitat superior a la de l'acer natural.

Al final del segle XVIII i al primer terç del XIX, el mètode català va aconseguir el seu màxim desenvolupament tècnic. No obstant això, és en aquest moment quan el seu èxit comença a declinar. Molts factors se sumaren a la lenta mort d'aquesta antiga metal·lúrgia. El ferro pirinenc, en les contrades on eren situades les fargues, era molt car a causa de les despeses del transport; i els mestres fargaires que havien après els coneixements de l'art de la farga per transmissió oral i que havien fet admirar llur destresa, ara la convertien en rutina, i es negaven a acceptar innovacions per a millorar o fer més rendible la tècnica. També, cada vegada s'havia d'anar a cercar un bosc més llunyà per tal de trobar llenya per a fer carbó, i el preu d'aquest era 3 o 4 vegades més alt que el del carbó mineral.

A més, la gran indústria siderúrgica permetia ja una transformació ràpida dels productes, que els feia molt més competitius. Un alt forn sol produïa, i a menys preu, tant com 50 fargues alhora.

Els poders públics tampoc no van fer res per tal d'ajudar a crear una infraestructura adient per a adaptar-se al canvi. I la història del mètode català morí en els Pirineus abans d'acabar-se el segle XIX.

Només queden avui documents d'arxiu que parlen d'aquesta indústria desapareguda, les restes de les pedres, moltes ruïnes, muntanyes d'escòries i algun estri de ferro. La toponímia, guardiana dels noms, manté encara el record d'aquells llocs on es donava un procés que va merèixer la universalitat de "mètode català".

*Endavant! Un mateix voler ens acosta.
Tu ets el mestre, el senyor, el capità!
Així vaig dir-li, i reprenent la costa
per l'alt camí silvestre vaig entrar.*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL IV

ESTUDI DEL MASSER

Per a fer l'estudi metal·lúrgic del procés de la farga, hem disposat de:

- Un masser, o resta de forn.
- Escòries de diferents indrets, amb la garantia que són de farga.
- Una mostra metàl·lica, suposadament obtinguda en una farga.

Preparació de les mostres

El masser objecte d'estudi procedeix d'una troballa del Sr. J. Mateu, que el recollí a Romadriu i tingué la gentilesa de lliurar-lo per al nostre estudi.

En realitat es tracta d'un pseudo-masser o pre-masser. De fet, els autèntics massers pesaven més de 150 kg i el que hem estudiat només en pesa 42.

A més a més, els massers acabats tenien la superfície d'aspecte metàl·lic i llis, tal com hem pogut veure en el masser d'una farga d'Andorra, i també es pot apreciar en una fotografia d'aquest en *El llibre de la Farga*, de P. Molera i C. Barrueco.

Probablement, en el nostre cas, el masser és el resultat d'un procés iniciat que no va acabar-se a causa de formar-se en unes condicions defectuoses. (De fet, se sap que això ocorria de vegades perquè el forn era poc calent o el carregament mal fet).

Aquesta circumstància feia més interessant el seu estudi ja que, essent una mostra en la qual no s'ha acabat el procés, s'hi podrien observar les diferents fases d'aquest.

La figura IV-1 mostra el masser, comparant-ne la mida amb un objecte adient.

D'aquest masser, se'n féu una secció transversal per la seva zona mitjana, a manera d'una llesca, d'uns 3 cm de gruix (fig. IV-2). Com es veu en la fotografia corresponent, a la part inferior de la secció predomina el material metàl·lic, amb zona contínua i poc porosa, i la part superior és escoïa, plena de cavitats més o menys esfèriques, moltes d'elles envoltades d'una capa metàl·lica.

Aquesta llesca fou tallada en sentit vertical i aproximadament, en la seva part mitjana, i s'obtingué una peça de 14 cm d'alçada i 1,5 cm d'amplada, com indica la figura IV-3.

A partir d'aquesta peça, es prepararen vuit mostres tallades paral·lelament a la seva base, procurant que totes tinguessin una mateixa alçada d'1,5 cm, i fossin com més iguals millor, fig. IV-4 i fig. IV-5.

Cada mostra fou senyalitzada amb la lletra "M" (masser) seguida d'un número corresponent a la seva posició.

De cada mostra se'n separaren dues porcions d'1,1 mm de gruix, per mitjà de dos talls paral·lels, tal com ho indiquen les línies de punts de la figura IV-5. Amb aquestes porcions es prepararen les provetes metal·logràfiques que, després de polides i atacades, foren objecte d'un estudi morfològic i estructural amb l'auxili del microscopi òptic. Posteriorment, foren



Fig. IV-1.

observades en el microscopi de rastreig (SEM) i foren analitzades per mitjà de l'energia dispersiva de raig X (EDAX).

Estudi de les mostres del masser

En la secció vertical que hom féu a la part mitjana de la llesca central del masser (Fig. IV-4), i de la qual posteriorment es prepararen les vuit provetes M, s'observen macroscòpicament grans diferències entre els extrems superior i inferior, essent aquest últim el que havia reposat al fons del forn envoltat de carbó.

La meitat baixa de la secció es pot considerar pràcticament metàl·lica, solament amb alguns carbons incrustats a la vora inferior i poques inclusions amb prou feines visibles. En la part mitjana del tall el nombre d'inclusions ja ha començat a augmentar així com llur mida, amb la consegüent disminució de la part metàl·lica. I la part alta de la secció apareix pràcticament escoriàcia.

La variació que segueixen les inclusions és semblant a la de les porositats de la mostra, les quals, essent imperceptibles visualment a la part baixa, passen a ésser fàcilment observables a causa de l'augment de mida, a la part superior.

A continuació presentem l'estudi morfològic i analític de cada una de les vuit provetes M.

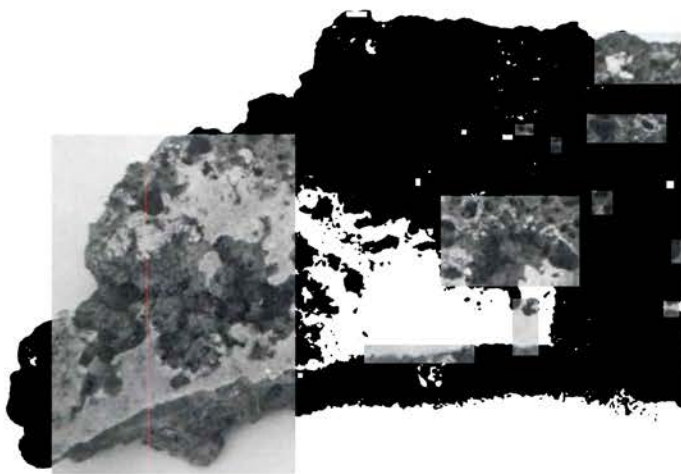


Fig. IV-2.

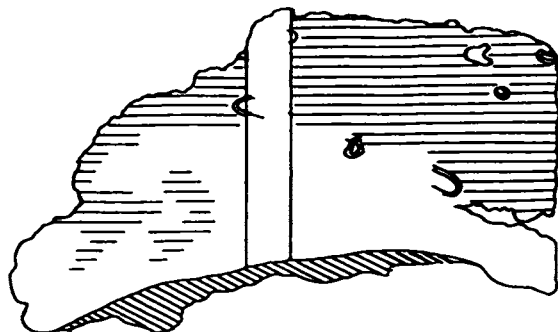


Fig. IV-3.

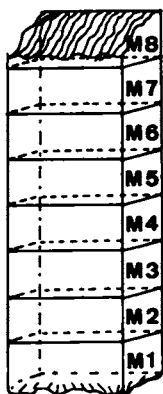


Fig. IV-4.

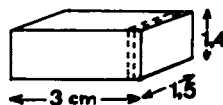


Fig. IV-5.

MOSTRA M-1. Descripció general

Preparada la proveta, com ja s'ha explicat, s'observa en el microscopi òptic que la seva part metàl·lica és formada per grans de ferrita, cadenes de cementita intergranulars i zones de perlita. Un aspecte general de la part inferior de la mostra es veu a la micrografia de la figura IV-6. Els punts negres, que poden semblar inclusions, són majoritàriament cavitats buides (cal no oblidar que aquest masser no ha estat sotmès als cops del mall). El nucli de la proveta és representat a la figura IV-7, on es veu que la mida del gra és molt gran i els grans estan molt deformats.

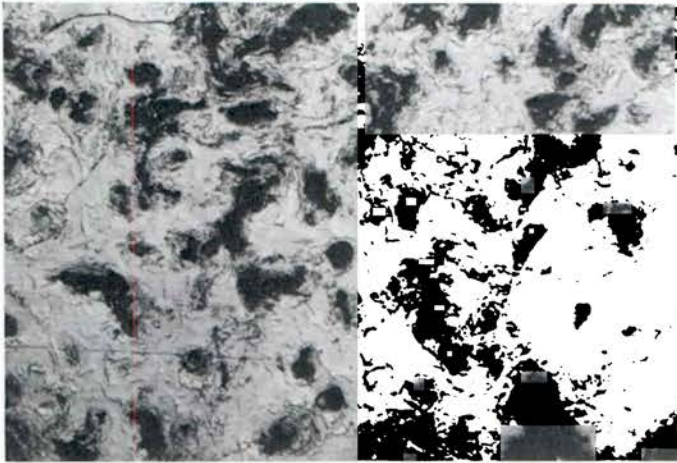


Fig. IV-6.

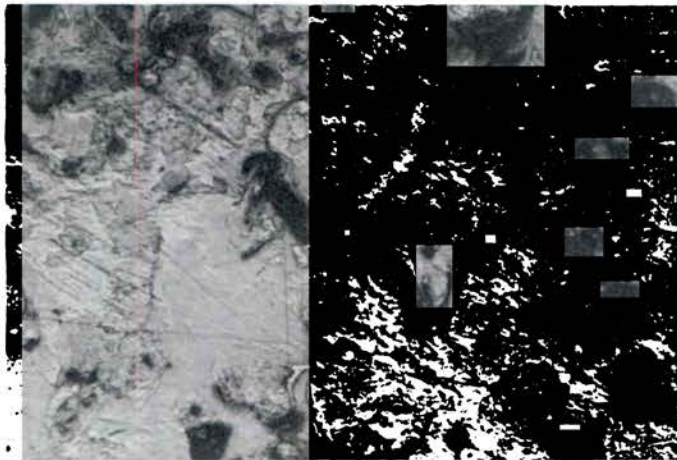


Fig. IV-7.

La figura IV-8 és l'ampliació d'una zona eutectoide o perlítica, que correspon a la transformació de l'austenita de composició eutectoide en perlita, o sigui, la transformació del ferro γ de l'austenita en el ferro α de la ferrita, que forma part de la perlita, i la precipitació en forma de carbur de ferro del carboni que es trobava a l'austenita en solució i que ara queda en forma de cementita. Però la durada de la transformació ha estat molt

llarga: ho podem veure en la micrografia de la figura IV-9, que ens mostra una zona perlítica, en la qual una part de l'estructura és laminar i una part és globular.

Per la mida i la quantitat de perlita que hi ha entre els grans de ferrita, es dedueix que és un acer de baix contingut de carboni.

En algunes zones es mostra la precipitació de cementita terciària, pro-

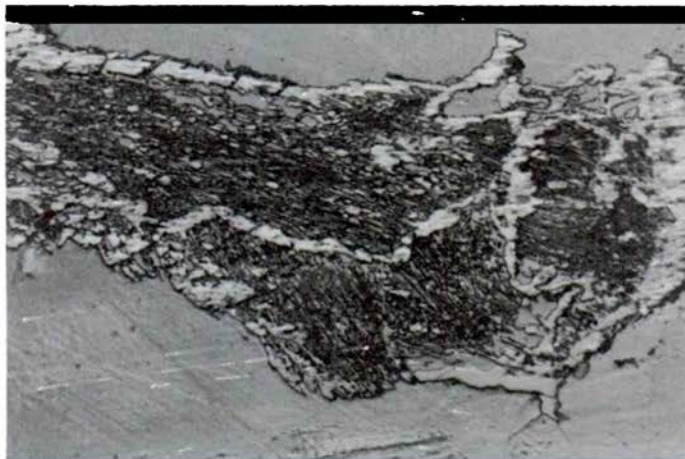


Fig. IV-8.

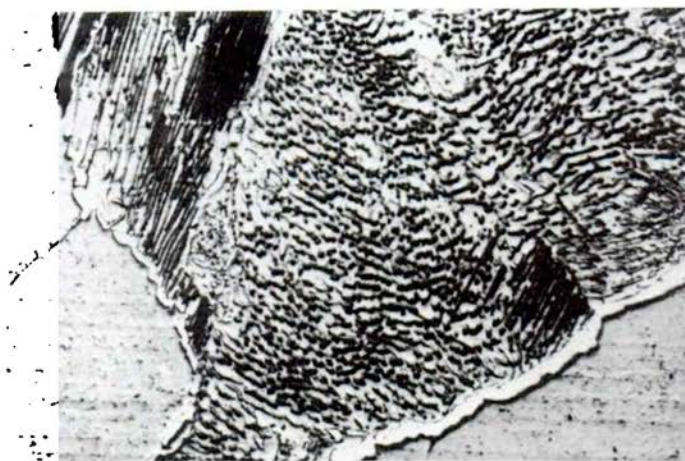


Fig. IV-9.

duïda durant el refredament en la unió dels grans de ferrita. L'anàlisi puntual dóna: ferro, carboni.

També es troben algunes inclusions envoltades d'una zona deformada de ferrita, situada entre grans no deformats. Aquesta diferència morfològica dels grans és deguda a la deformació plàstica que experimenta l'austenita sotmesa a temperatures superiors a 910°C, produïda per l'esforç que representa el pes del masser. L'anàlisi punt per punt, dóna: Matriu; ferro. Inclusions; silici, alumini.

Apareix aïlladament un altre tipus de grans, constituïts per òxid de ferro.

Escollint, en la pantalla del microscopi electrònic, una zona que aparentment era totalment metàl·lica, s'han fet tres anàlisis d'aquesta matriu metàl·lica. Els resultats han estat:

Elements	1	2	3	Mitjana
Fe	99,402%	99,183%	99,062%	99,216%
Mn	0,129%	0,194%	0,042%	0,122%
Ca	0,052%	0,081%	0,027%	0,053%
K	0,087%	0,080%	0,100%	0,089%
P	0,006%	0,058%	0,126%	0,056%
Si	0,024%	0,123%	0,251%	0,133%
Al	0,296%	0,276%	0,426%	0,333%

A continuació s'ha fet l'anàlisi dels components lleugers, carboni i oxigen, que apareixen a la gràfica núm. 1 de la figura IV-22.

MOSTRA M-2. Descripció general

La visió macroscòpica d'aquesta proveta és idèntica a la de la mostra 1, però el seu aspecte, vista al microscopi, varia lleugerament. La micrografia de la figura IV-10 exposa l'aspecte general a pocs augments. La figura IV-11, que correspon a la part baixa, ens mostra dues formacions perlítiques. Aquesta proveta té, majoritàriament, ferrita i cementita intergranular. El nombre d'inclusions comença a augmentar. També augmenta la quantitat de grans que semblen de wüstita, i apareixen més zones deformades per fluència plàstica. També, es pot veure la cementita en les seves diferents formes, vermicular i formant cadenes cristal·lines, així com zones de deformació plàstica de la ferrita envoltant una inclusió.

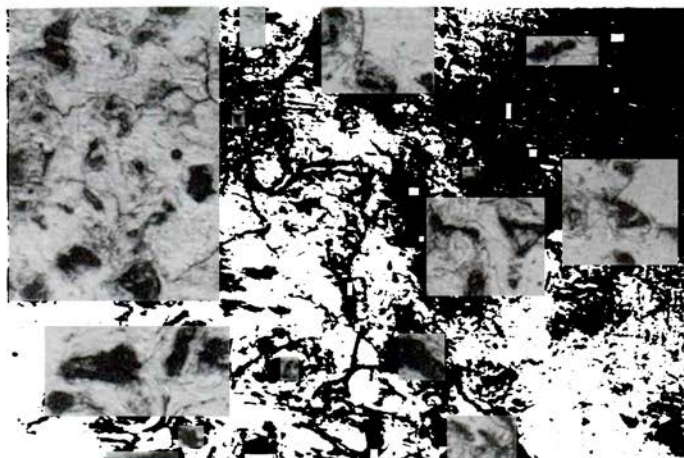


Fig. IV-10.

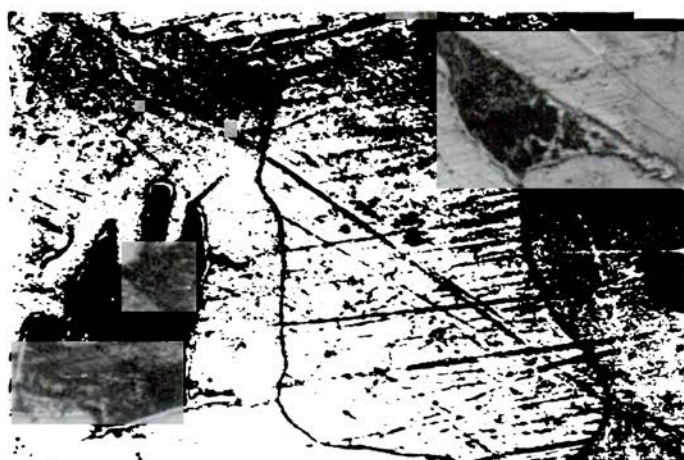


Fig. IV-11.

Els resultats de les anàlisis són els mateixos que a la mostra M-1.

En la micrografia enregistrada en la figura IV-12, apreciem una inclusió atrapada entre grans de ferro, més o menys equiaxials, amb cadenes de cementita intergranular. Analitzades les diferents zones, amb l'EDAX, s'obté:

Vora externa inclusió: ferro, carboni.
Cadenes intergranulars: ferro, carboni.
Grans metàl·lics: ferro.
Inclusió: silici, manganès, oxigen.

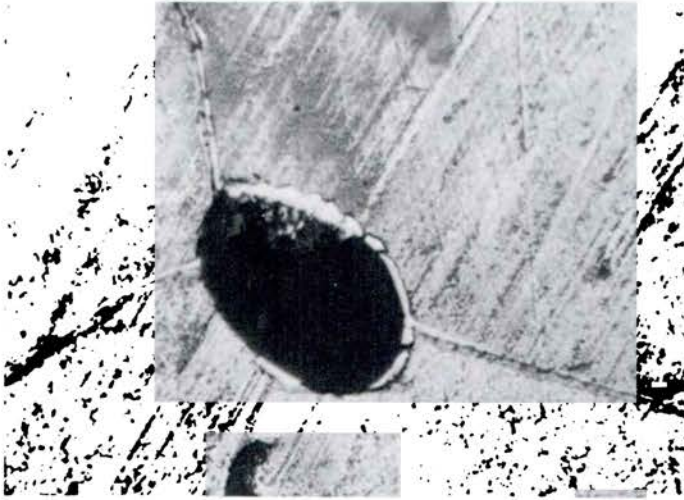


Fig. IV-12.

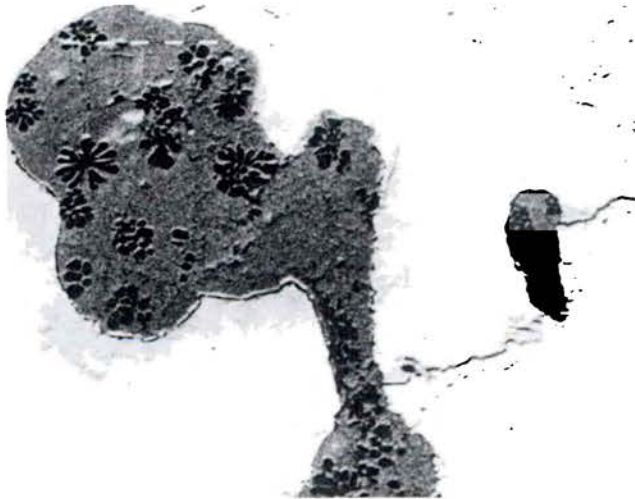


Fig. IV-13.

Un altre tipus d'inclusió que apareix a la mostra M-2, i que veurem en més quantitat en les mostres superiors, és la de la figura IV-13: és grisa, arrodonida, amb formes internes més fosques, semblants a pètals de flors. Fet l'anàlisi puntual de les diferents parts, s'ha obtingut:

Vora metàl·lica externa inclusió: ferro, manganès (traces).

Part interna inclusió: ferro, manganès, silici, alumini (traces), oxigen.

Pètals negres interns d'inclusió: silici, potassi, alumini, oxigen.

A continuació, s'han fet tres anàlisis dels elements de la matriu metàl·lica, a finestra oberta, de diferents zones de la mostra M-2:

Elements	1	2	3	Mitjana
Fe	96,287%	96,403%	95,859%	96,192%
Mn	0,085%	0,103%	0,160%	0,116%
Ca	0,016%	0,093%	0,030%	0,046%
K	0,135%	0,224%	0,207%	0,188%
P	0,050%	0,027%	0,052%	0,043%
Si	2,561%	2,658%	2,664%	2,628%
Al	0,861%	0,490%	1,023%	0,791%

L'anàlisi dels components lleugers carboni i oxigen, apareixen a la gràfica núm. 2 de la figura IV-22.

MOSTRA M-3. Descripció general.

En la visió macroscòpica d'aquesta proveta s'observen ja força inclusions de mida més gran. Estudiada al microscopi es comprova que no té perlita, hi ha menys cementita que a la mostra M-2, no es veuen els límits de gra, és plena de nusos i s'hi observen grans zones més opaques, de diferent aparença que la ferrita. La figura IV-14 és una micrografia de l'aspecte general de la mostra, i la figura IV-15 presenta una zona de la mostra a més augments.

Els porus que a simple vista semblen inclusions, no tots són plens, car n'hi ha molts de buits. En les grans inclusions de textura gris clar, s'hi veuen nòduls interns d'aparença metàl·lica, els uns rugosos i els altres lliços. S'ha observat en el microscopi electrònic una d'aquestes zones, per poder analitzar-ne les parts constituents, com es pot veure en la micrografia de la figura IV-16 i l'esquema que l'acompanya, de la figura IV-16'.

L'anàlisi quantitativa (EDAX) ha donat:

Matriu metàl·lica:	ferro.
Fons gris inclusió:	ferro, manganès, silici, oxigen.
Nòduls llisos:	ferro, manganès, oxigen.
Nòduls rugosos:	ferro, oxigen.



Fig. IV-14.

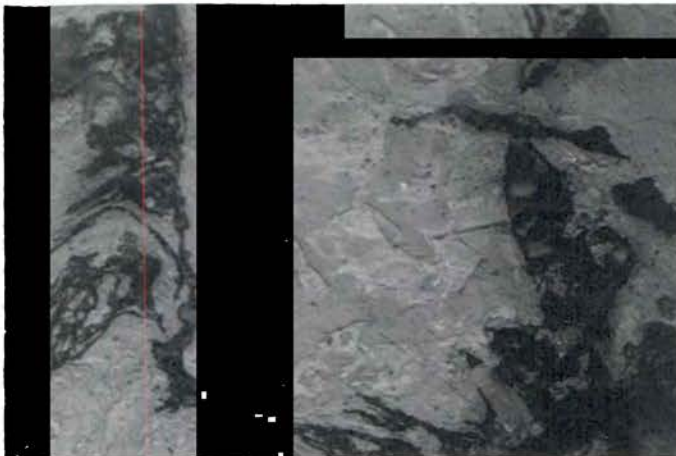


Fig. IV-15.



Fig. IV-16.

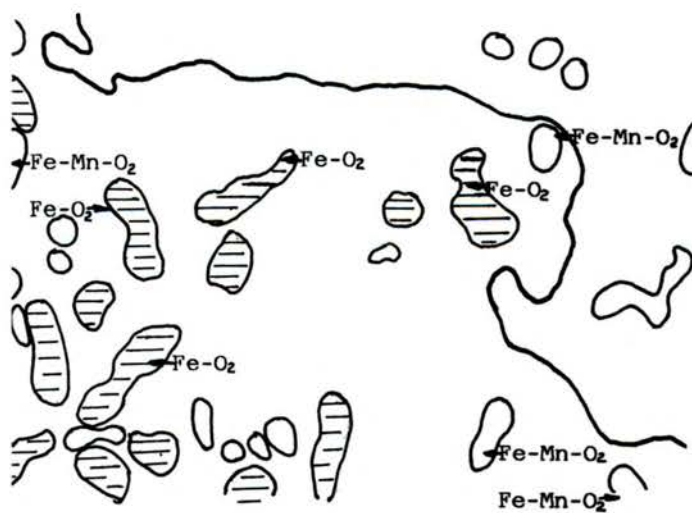


Fig. IV-16'.

Han estat fetes tres anàlisis quantitatives dels elements de la matriu metal·lica, de diferents zones de la mostra M3.

Elements	1	2	3	Mitjana
Fe	93,597%	93,744%	96,464%	94,602%
Mn	0,079%	0,191%	0,070%	0,113%
Ca	0,036%	0,084%	0,123%	0,081%
K	0,073%	0,099%	0,068%	0,080%
P	0,018%	0,000%	0,045%	0,031%
Si	4,878%	5,059%	2,773%	4,237%
Al	1,315%	0,820%	0,455%	0,863%

A continuació, ha estat feta l'anàlisi dels components carboni i oxigen, que apareixen a la gràfica núm. 3 de la figura IV-22.

MOSTRA M-4. Descripció general

En la visió macroscòpica d'aquesta proveta ja s'observen cavitats molt grans. Sotmesa a un mateix temps d'atac que les anteriors, apareixen moltes zones opaques groguenques.

La microestructura general de la proveta es mostra a les figures IV-17 i IV-19. L'aparença és de grans de ferrita amb poques cadenes de cementita (com la que s'observa a la figura IV-18, ampliació del gra amb inclusió interna de la figura IV-17) i grans zones on les partícules de ferro estan immerses en la zona no metal·lica. Aquesta té, segons els casos, dues tonalitats; l'una clara i l'altra més fosca, normalment inclosa en l'anterior i en menor proporció que aquella. A l'interior de les zones de tonalitat més fosca s'observen formacions amb agulles de petitíssimes dimensions.

En les inclusions gris clar és freqüent de trobar a l'interior formacions globulars de mida més gran o més petita, com es mostra a la figura IV-20. En fer l'anàlisi de les diferents parts de la figura IV-20, s'obté:

Matriu metal·lica: ferro.

Gra interior a la inclusió: ferro, manganès (traces).

Nòduls interiors a la inclusió: ferro, manganès, oxigen (molt poc).

Fons gris clar: ferro, manganès, silici, oxigen.

Fons gris fosc: ferro (molt poc), calci, potassi, silici, alumini, oxigen.

Una altra zona semblant, però més ampliada, és la que es mostra a la figura IV-21, on hi ha nòduls de dues tonalitats sobre un fons de silicats.

Feta l'anàlisi puntual de les diferents parts, s'obté:
 Nòduls blancs: ferro,
 Nòduls gris clar: ferro, oxigen, traces de manganès.
 Fons: ferro, manganès, silici, oxigen i traces de potassi i al·lumi.



Fig. IV-17.

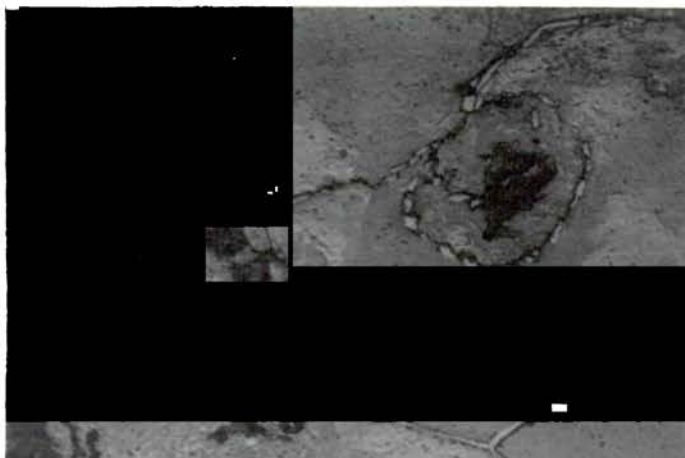


Fig. IV-18.

S'han fet, com en les anteriors, tres anàlisis dels elements de la matriu metàl·lica, a finestra oberta, de diferents zones de la mostra M-4.

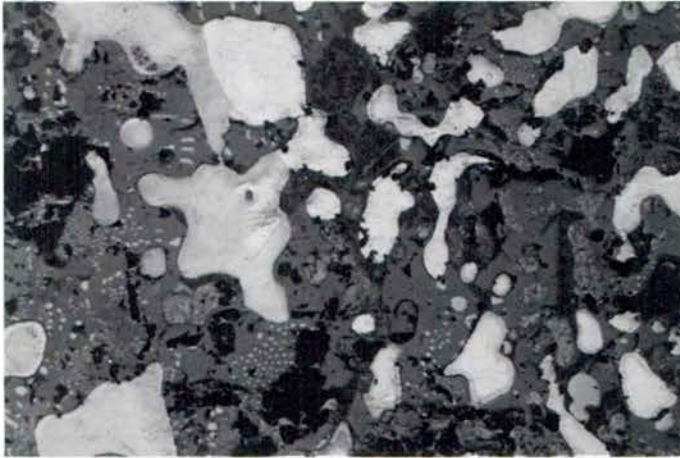


Fig. IV-19.

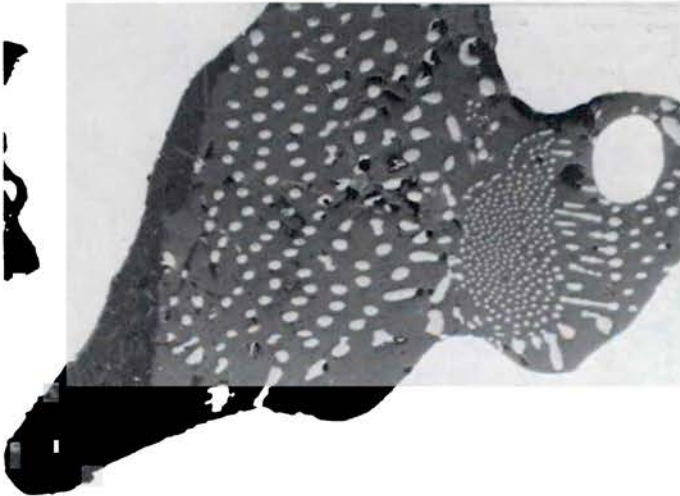


Fig. IV-20.

Els resultats són:

Elements	1	2	3	Mitjana
Fe	97,526%	96,283%	95,714%	96,508%
Mn	0,143%	0,194%	0,370%	0,236%
Ca	0,071%	0,117%	0,080%	0,089%
K	0,096%	0,106%	0,175%	0,126%
P	0,085%	0,122%	0,173%	0,126%
Si	1,642%	2,261%	2,888%	2,264%
Al	0,434%	0,914%	0,597%	0,648%

L'anàlisi dels components carboni i oxigen, juntament amb el ferro, apareixen a la gràfica núm. 4 de la figura IV-22.

A partir de la mostra M-5, que correspon a una alçada, en la secció del masser, d'uns 7 cm, canvien les característiques observades a les mostres fins ara, ja que aquesta alçaria sembla que és el límit de la part marcadament metàl·lica i on en comença una altra molt més escoriàcia i plena de forats i esclatxes.

Abans de descriure les mostres de nivells superiors, presentem una recopilació de les dades de les quatre primeres provetes M-1, M-2, M-3, M-4.

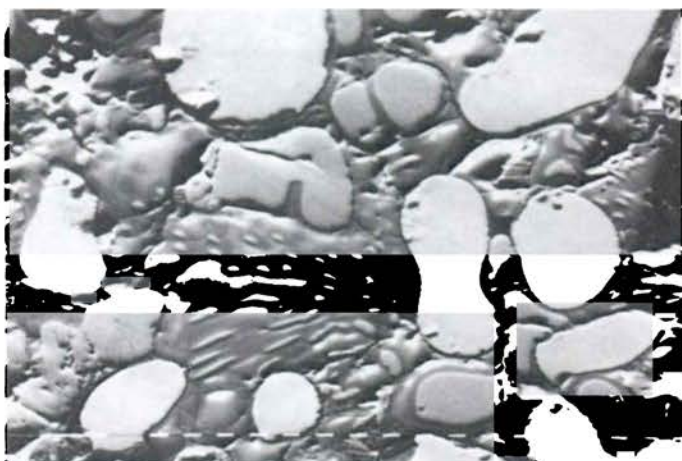


Fig. IV-21.

El valor mitjà per a l'anàlisi dels elements de cada una d'elles és:

Elements	M-1	M-2	M-3	M-4
Fe	99,216%	96,192%	94,602%	96,508%
Mn	0,122%	0,116%	0,113%	0,236%
Ca	0,053%	0,046%	0,081%	0,089%
K	0,089%	0,188%	0,080%	0,126%
P	0,056%	0,043%	0,031%	0,126%
Si	0,133%	2,628%	4,237%	2,264%
Al	0,333%	0,791%	0,863%	0,648%

Les gràfiques de la figura IV-22 mostren el decreixement del carboni i del ferro, i l'augment de l'oxigen al llarg de les provetes M-1, M-2, M-3, M-4.

Podem dir que la ferrita es presenta com a fase més abundant, amb perlita i cementita que van disminuint en quantitat, a mesura que ens allunyem de la base del masser. Primer desapareix la perlita, després la cementita. Apareixen uns nous constituents: grans d'òxid de ferro, un silicat de ferro i manganès i un altre silicat alumínic potàssic, en menor quantitat i normalment inclòs dins el primer. I aquests nous constituents van augmentant en quantitat de la proveta M-1 a la M-4.

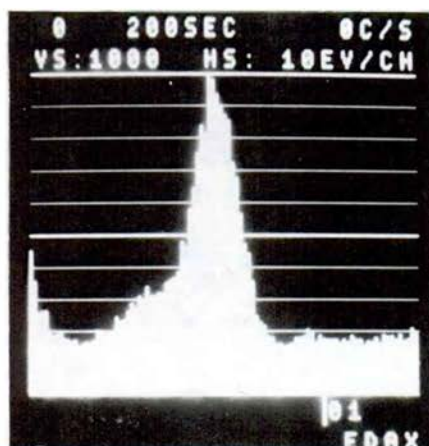
MOSTRA M-5. Descripció general

En la visió macroscòpica d'aquesta proveta s'observen moltes variants respecte a les mostres anteriors. El seu aspecte és menys metàl·lic, més escoriaci, i amb molts forats.

Vista al microscopi, s'hi diferencien clarament dues parts: l'una és de textura granular, formada per grans equidimensionals, fig. IV-23, i l'altra, en la qual l'atac no ha marcat vores de gra, és d'una tonalitat grisa, d'aspecte no metàl·lic; és plena de creixements i nòduls interns d'aparença diversa, fig. IV-24.

En la part de textura granular es poden apreciar, en alguns llocs, petites làmines intergranulars de cementita, com ja havíem vist en les mostres anteriors. Tanmateix, en aquesta mostra són molt menys importants que en les mostres estudiades abans.

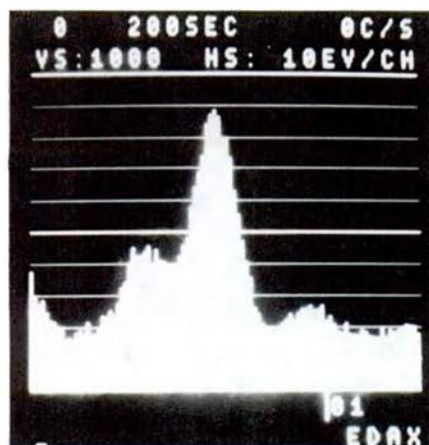
Amb l'atac químic, les partícules immersides en la massa escoriàcia, han pres diferents coloracions, blavosa, blanca, grogosa i taronja. N'hem



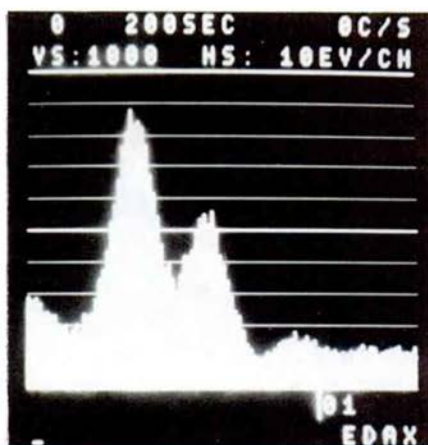
Provet M-1



Provet M-2



Provet M-3



Provet M-4

Fig. IV-22.

fet l'anàlisi EDAX, i l'hem repetit per confirmar-ne la reproductibilitat en les mateixes condicions. Els resultats obtinguts són:

Partícules blanques-blavoses: ferro, carboni, oxigen (traces).

Partícules grogues-taronja: ferro, oxigen, carboni (traces).

Per tal de quantificar els resultats, presentem els valors de les intensitats de les línies $K\alpha$ en una taula, per a quatre partícules de cada aparença:

Blanques-blaves	C	O	Fe
a	679	700	13.816
b	804	748	13.592
c	1.729	544	14.082
d	767	500	13.900
Grogues-taronja			
e	422	1.047	13.959
f	481	1.985	13.981
g	460	1.600	13.962
h	527	1.358	13.958

La figura IV-25 mostra l'ampliació d'una partícula de la micrografia anterior. En aquesta es fa palès el límit blavós que voreja el gra, que correspon, feta l'anàlisi, a ferro i carboni, mentre que en el centre del gra només hi ha ferro.

En intentar d'estudiar més a fons la zona no metàl·lica, ampliant-la, es troba que és plena de creixements nodulars, aparentment de diferent naturalesa que el fons, per llur diferent tonalitat. Escollint cinc punts a l'atzar del fons, i tres nòduls, i fent-ne l'anàlisi, s'obté:



Fig. IV-23.

Fons gris	1	2	3	4	5
Si	25,881%	23,658%	28,925%	22,844%	30,406%
Mn	9,080%	7,676%	10,099%	9,009%	9,335%
Fe	65,097%	68,665%	60,971%	68,146%	60,258%



Fig. IV-24.

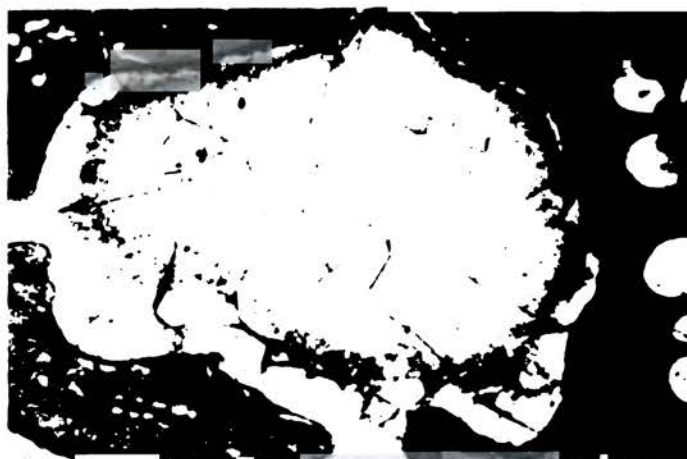


Fig. IV-25.

Nòduls	a	b	c
Si	3,437%	3,627%	1,260%
Mn	2,778%	3,614%	0,287%
Fe	93,784%	92,757%	98,451%

En tots els punts s'ha trobat oxigen.

I, repetint les anàlisis en una altra zona, corresponent a la micrografia més ampliada de la fig. IV-26, en els punts 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 de l'esquema, que semblen de la mateixa natura, incloent en l'anàlisi l'existència d'oxigen, s'obté:

Nòduls 1: ferro.

Creixements 2: ferro, manganès, oxigen.

Fons gris clar 3: ferro, manganès, calci, silici, oxigen.

Fons gris fosc 4: ferro, manganès, potassi, silici, alumini, oxigen.

Per tot el que hem exposat referent a la mostra 5, podem concloure que aquesta és heterogènia, amb una part de textura granular i aspecte metàl·lic que és formada per ferrita, òxid de ferro i petites làmines de cementita, i, una altra part, escoriàcia, formada per dos silicats, un de ferro-manganès, que conté una sèrie d'inclusions constituïdes per òxid de ferro amb quantitats variables de manganès, i un altre silicat de composició més complexa, ja que conté ferro, manganès, alumini i potassi, que té, també, inclusions semblants a les de l'altre silicat.

MOSTRA M-6. Descripció general

A ull nu, aquesta mostra és plena de petits porus, plens o buits, envoltats per una coberta metàl·lica, semblants als que descriu François en el seu llibre.

En el conjunt de la seva estructura sembla haver-hi la mateixa proporció de part escoriàcia i de metàl·lica. Però en observar-la al microscopi es veu que la part metàl·lica no és contínua, sinó que és constituïda per nòduls més o menys grans immersos en la part escoriàcia. Una micrografia de l'aspecte general de la mostra, es la de la figura IV-27. Juntament amb els nòduls, es troben zones metàl·liques allargades que poden ser part dels embolcalls metàl·lics (com ja hem dit), que s'han trencat i buidat en tallar la mostra. Per això, posteriorment presentarem les anàlisis d'aquestes parts metàl·liques que formen un embolcall tancat, com si fossin la part externa d'un pinyol, l'interior del qual és escoriaci, i que han estat arrencades individualment de la superfície del masser partit.

En la dita estructura, tant en els nòduls com en la part no metàl·lica, es troben dues tonalitats, gris clar i gris fosc, i, dels nòduls, els uns són blancs brillants i els altres blancs grisosos. La micrografia de la figura IV-28, acompanyada de l'esquema, ens ho mostra, marcant tots els punts que han estat analitzats. Els resultats obtinguts són:

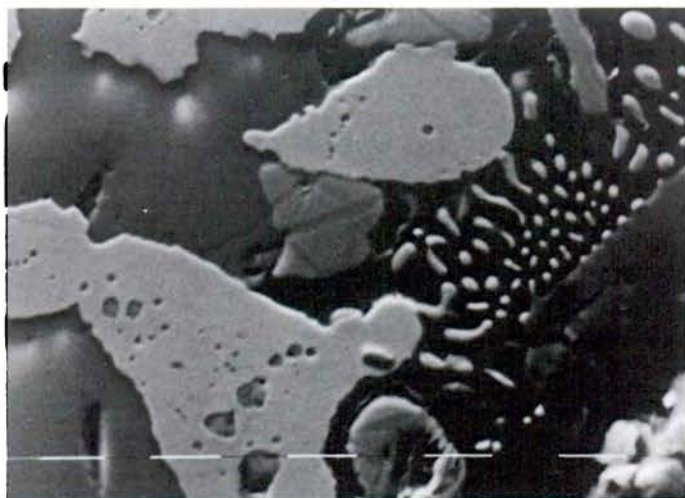


Fig. IV-26.

Nòduls blancs 1: ferro.

Nòduls grisos 2: ferro, manganès, oxigen.

Fons gris clar 3: ferro, manganès, silici, oxigen.

Fons gris fosc 4: ferro (traces), potassi, silici, alumini, oxigen.

Així doncs, el conjunt d'aquesta mostra és format ja solament per un fons escoriaci en el qual la part metàl·lica apareix formant partícules aïllades, o grumolls de partícules, immergides en els silicats.

Tant la part metàl·lica com els silicats, i llurs inclusions, tenen la mateixa composició qualitativa que la mostra anterior.

MOSTRA M-7. Descripció general

Aquesta mostra té la mateixa aparença que l'anterior, i en observar-la al microscopi es constaten les mateixes estructures. Una micrografia representativa de la proveta és la mostrada a la figura IV-29.

Per tal de comprovar que la natura de les estructures presents és la mateixa de la mostra 6, s'ha fet l'anàlisi de les diferents parts que la componen, tal com es veuen a la fig. IV-30, acompanyada de l'esquema indicatiu dels punts d'igual aparença amb què s'ha fet l'anàlisi.

Els resultats obtinguts per les diferents formacions, són:

Nòduls blancs 1: ferro.

Nòduls gris clar 2: ferro, manganès, oxigen.

Fons gris clar 3: ferro, manganès, silici, oxigen.

Fons gris fosc 4: ferro, potassi, silici, alumini, oxigen.

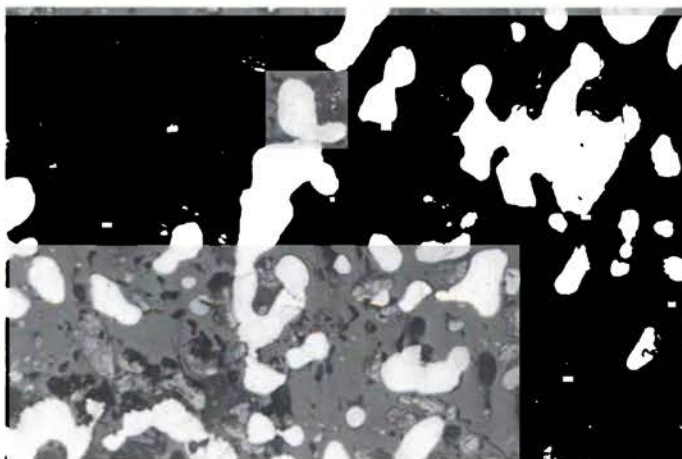


Fig. IV-27.

I, repetint les anàlisis en una altra zona de la mostra, amb formacions aparentment iguals que les anteriors, s'obté:

Vora metàl·lica: ferro.

Nòduls blancs: ferro, manganès (traces).

Nòduls gris clar: ferro, manganès, oxigen.



Fig. 1V-28.

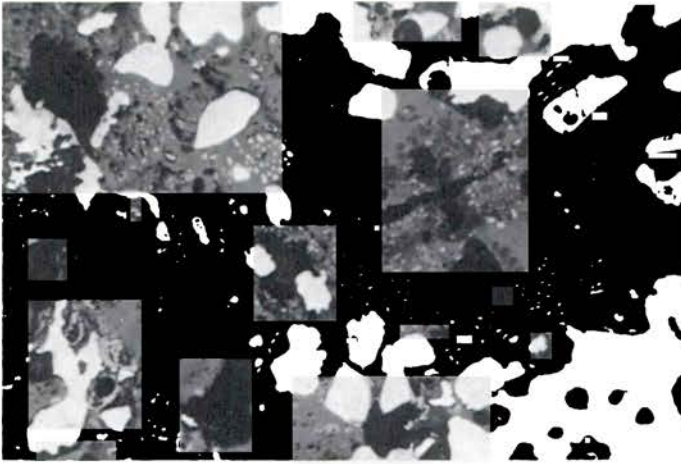


Fig. IV-29.

Fons gris clar: ferro, manganès, silici, oxigen.

Fons gris fosc: ferro, potassi, silici, alumini, oxigen.

Veiem, per tant, que es repeteixen els mateixos resultats al llarg de tota la mostra.

MOSTRA M-8. Descripció general

Aquesta mostra, última del tall efectuat en el masser, aparentment igual a les dues anteriors, amb les mateixes zones metàl·liques immergides en altres de no metàl·liques, i els seus porus, cada vegada més grans, presenta tanmateix, a ull nu, una particularitat: hi ha dues seccions circulars corresponents al que semblen dues esferes d'aspecte metàl·lic, l'una d'uns tres mil·límetres de diàmetre, l'altra d'un mil·límetre aproximadament. En observar-les al microscopi es veu, com mostra la micrografia de la figura IV-31, que a la primera el centre és escoriaci, però tota la corona circular que l'envolta és formada per grans ferrítics, mentre que a la segona (micrografia IV-32) no hi ha centre escoriaci. En les partícules que les envolten, com en la mostra 5, s'observen també diferents tonalitats.

Analitzats els grans de les estructures circulars, han donat: ferro, i en alguns, oxigen, però molt poc.

Entre els grans ferrítics sembla entreveure's alguna cadena de cementita.

La micrografia IV-33 ens mostra un aspecte general de la mostra amb zona metàl·lica, nòduls i els dos tipus de silicats. Hem fet quatre vegades, en quatre punts diferents, les anàlisis puntuals de cada una de les parts. Les intensitats mesurades per l'aparell, corresponents als diferents components, són:

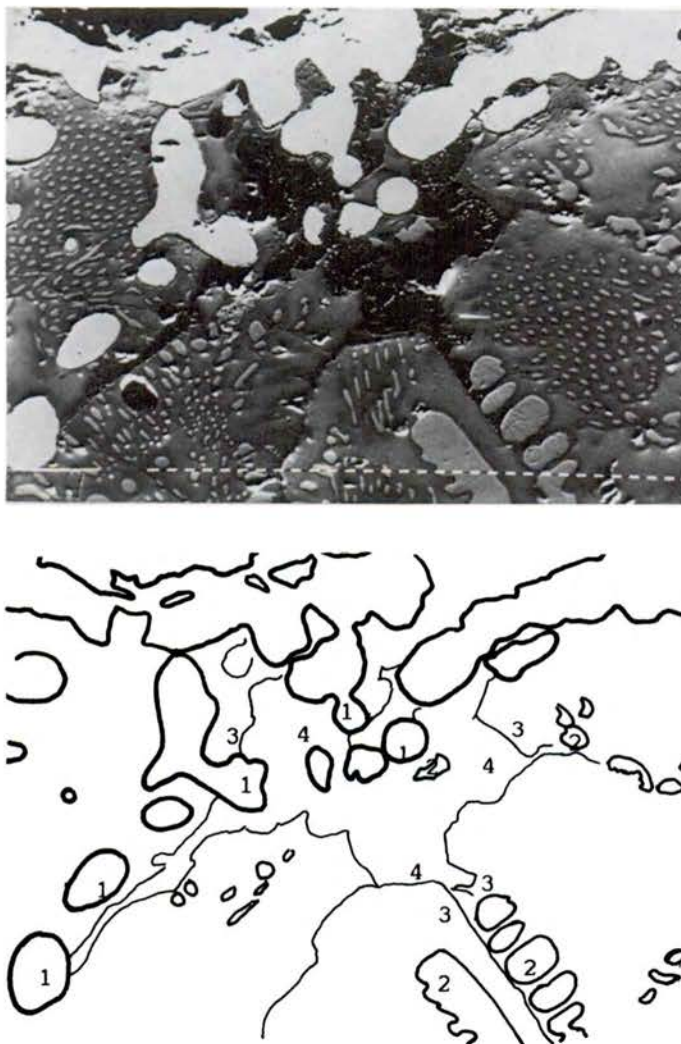


Fig. IV-30.

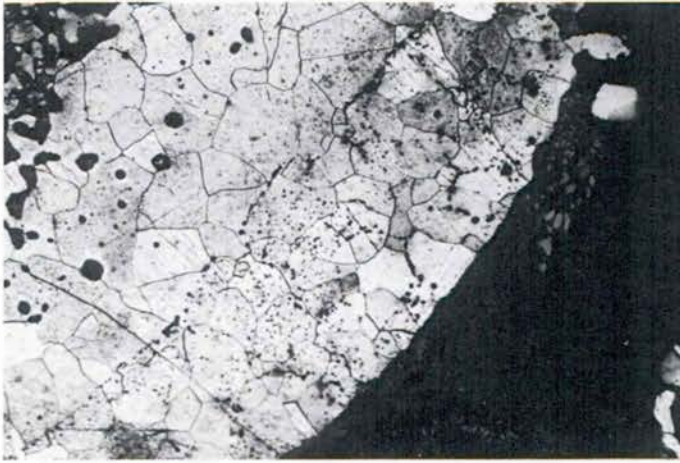


Fig. IV-31.

Taula IV-a.

	Fe	Mn	Ca	K	Si	Al	O ₂	C
Gra metàl·lic	4,5 - 0,65	—	—	—	—	—	2,1	1,1
Nòdul gris	4,1 - 0,6	0,2	—	—	0,2	—	6,6	1,1
Silicat clar	2,8 - 0,35	0,4	0,2	—	0,95	—	7,8	—
Silicat fosc	1,1 - 0,2	trac.	0,3	1,6	1,9	0,8	6,6	—
Gra metàl·lic	5,1 - 0,75	—	—	—	—	—	1,1	1,4
Nòdul	3,5 - 0,5	0,2	—	—	0,2	—	7,6	1,25
Silicat clar	3,0 - 0,4	0,3	0,1	—	0,9	—	9,0	—
Silicat fosc	1,8 - 0,3	trac.	0,2	1,1	1,2	0,5	9,2	—
Gra metàl·lic	5,9 - 0,9	—	—	—	—	—	—	1,1
Nòdul	4,8 - 0,65	0,2	—	—	—	—	7,6	1,0
Silicat clar	3,6 - 0,5	0,35	0,5	—	1,3	—	8,1	—
Silicat fosc	0,92 - 0,2	—	0,35	2	2,3	1	8,5	—
Gra metàl·lic	10,2 - 1,6	—	—	—	—	—	1,1	1,1
Nòdul	7,0 - 1,0	0,4	—	—	0,4	0,1	7,9	1,1
Silicat clar	8,0 - 1,2	0,6	0,3	—	2	—	8	—
Silicat fosc	2,9 - 0,5	0,3	0,6	3,4	5,2	1,9	8,4	—

Hem dit en fer l'estudi de la mostra M-5, que des d'aquest nivell del masser fins a la superfície superior s'observen molts embolcalls o cobertes metàl·liques que sembla que siguin com les descrites per J. François en la

seva exposició del procés en un foc català. En la superfície dels talls de les mostres del masser, hem observat fragments d'aquests embolcalls. Per poder estudiar-ho més a fons, hem arrencat de la superfície del tall central del masser, figura III-2, dues formacions a i b hemisfèriques, tallades pel bell mig, amb la part interna buida, d'un diàmetre extern de ~ 4 mm. i un gruix

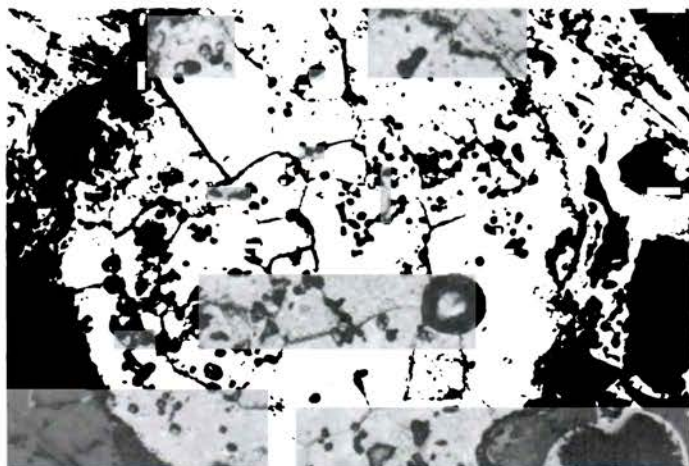


Fig. IV-32.



Fig. IV-33.

gruix de la coberta d'1,5 mm. I, dues formacions més, c i d, també d'aparença metàl·lica, de la mateixa mida aproximada, però sense forat central intern.

Muntades les quatre mostres en una proveta, i polida aquesta, s'ha procedit a la seva observació i anàlisi.

En les mostres a i b, s'observa que la coberta és formada per una estructura metàl·lica compacta, sobretot en la part interna, tenint a la vora externa de l'embolcall nòduls o grans lliures. Figures IV-34 (a), IV-35 (b).

En les mostres c i d, el creixement metàl·lic no és continu sinó format per nòduls aïllats sobre fons escoriaci en la c, fig. IV-36, i per una munió de porus oberts en la massa de ferro en la d, fig. IV-37, cosa que indica que el ferro obtingut per la reducció de la wüstita s'ha format a temperatures per sobre 1000° C i amb un alt contingut de monòxid de carboni. La mateixa xarxa de porus s'observa en una porció de la part dreta de la figura IV-35, que pertany a la mostra b.

Fent l'anàlisi puntual, per energia dispersiva de raigs X, en tres zones diferenciades, (externa, grans centrals, interna), de la mostra a, i repetint-los successives vegades, s'obté sempre, i aproximadament en la mateixa quantitat: ferro, carboni.

En el silicat de to gris clar que envolta els grans, s'hi troba: ferro, manganès, silici, oxigen.

En el silicat gris fosc, difícil d'analitzar perquè és a més profunditat, s'hi detecta: ferro (molt poc), manganès (traces), potassi, silici, alumini, oxigen.

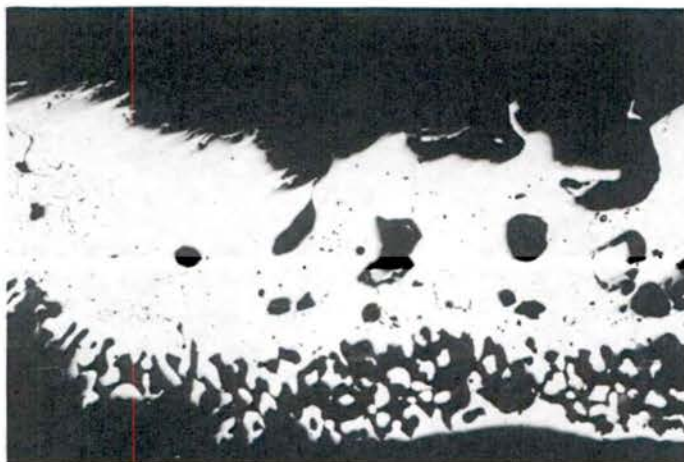


Fig. IV-34.

L'anàlisi de la mostra b ha donat resultats similars als de la mostra a, comprovant-se, així, la igualtat en la composició de l'estructura de les dues cobertes metàl·liques.

Igualment, en la mostra c, ampliada en la figura IV-38, s'ha analitzat repetidament cada una de les parts que la componen i hem obtingut:



Fig. IV-35.

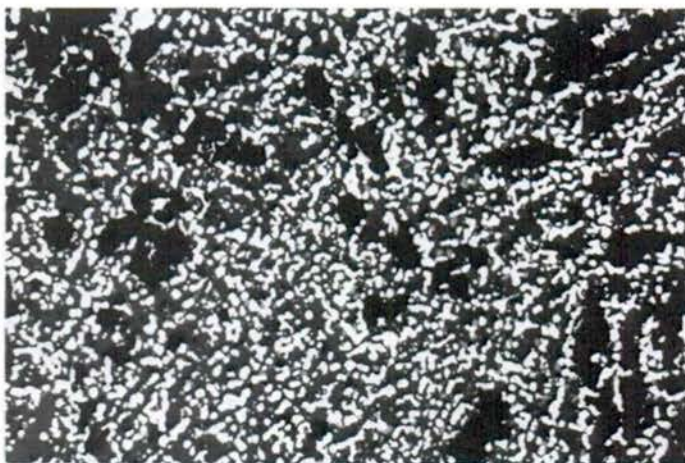


Fig. IV-36.

Gra metàl·lic: ferro.

Creixements equiaxials: ferro, manganès, oxigen.

Silicat de fons: ferro, manganès, silici, oxigen.

Per a estimar, comparativament, amb quina proporció es troben els diferents elements en cadascuna de les parts, adjuntem una taula de les intensitats mesurades corresponents a aquells:

	Fe	Mn	Si	O ₂	C
Gra metàl·lic	11.000	—	—	—	—
Gra gris	10.000	400	—	6.500	—
Silicat de fons	6.200	1.100	2.600	7.800	—

En observar la xarxa metàl·lica de la mostra d, més ampliada, veiem que també és creada per formacions nodulars, com en la mostra c. Analitzades les parts corresponents, com abans, s'obtenen els mateixos resultats.

Totes les observacions i anàlisis de les provetes M-1 a M-8, han estat fetes en les cares perpendiculars a la base del masser. Com que a diferents altures de les mostres la pressió d'oxigen durant l'elaboració deu haver estat diferent, és interessant de comprovar resultats de les anàlisis d'energia dispersiva de raigs X en els diferents components (gra metàl·lic, nòdul, silicat gris clar i silicat gris fosc) situats en una mateixa cara horitzontal de les provetes, on la pressió d'oxigen deu haver estat igual.

Això s'ha efectuat a les cares planes superiors de les mostres M-3, M-5, M-7 (preparades com les anteriors provetes).

La mostra M-1 és ferrítica-perlítica, amb molt poques inclusions i sense cap nòdul intern, i això no ens ha permès de prendre-hi dades comparatives.

Les anàlisis han estat fetes de les quatre parts diferenciades que eren en contacte, anomenant-les per:

1. Gra metàl·lic: el gra metàl·lic més proper als restants elements de la inclusió.

2. Nòdul: a les formacions que, ja analitzades anteriorment, hem vist que són wüstita.

3. Silicat gris clar: les formes cristal·lines del silicat de ferro-manganès.

4. Silicat gris fosc: el silicat vitri intersticial.

Els resultats figuren a les taules següents. En aquestes el guió horitzontal indica que l'element no hi és a la composició de la mostra, i el guió vertical, que hi és però no ha estat avaluat.

Taula IV-b. Mostra M-3.

	Fe	Mn	K	Ca	Si	Al	O	C
1. Gra metàl·lic	6,2	—	—	—	—	—	0,6	0,7
2. Nòdul	7,0	0,3	—	—	—	—	4,6	—
3. S. clar	5,5	0,7	—	—	2,3	—		—
4. S. fosc	1,2	0,15	2,0	1,5	3,2	1,5		—
1. Gra metàl·lic	6,7	—	—	—	—	—	0,8	0,8
2. Nòdul	5,8	0,2	—	—	—	—	4,5	—
3. S. clar	3,8	0,4	—	0,2	1,1	—		—
4. S. fosc	1,0	—	1,7	1,0	2,4	1,0		—
1. Gra metàl·lic	7,1	—	—	—	—	—	0,6	0,7
2. Nòdul	6,0	0,2	—	—	—	—	4,7	—
3. S. clar	3,4	0,45	—	—	1,3	—	5,0	—
4. S. fosc	0,9	0,05	1,7	1,1	2,6	1,4	4,7	—
1. Gra metàl·lic	7,7	—	—	—	—	—	0,4	0,5
2. Nòdul	5,3	0,25	—	—	—	—	5,0	—
3. S. clar	4,3	0,5	—	0,1	1,5	—	6,7	—
4. S. fosc	1,6	0,1	1,2	0,9	2	1,1	5,3	—
1. Gra metàl·lic	7,5	—	—	—	—	—	0,4	0,4
2. Nòdul	5,3	0,2	—	—	—	—	5,0	—
3. S. clar	4,2	0,5	—	0,15	1,7	—	4,9	—
4. S. fosc	1,4	—	1,4	0,8	2,2	1,2	5,1	—



Fig. IV-37.

Taula IV-c. Mostra M-5.

	Fe	Mn	K	Ca	Si	Al	O	C
1. Gra metàl·lic	6,0	—	—	—	—	—	0,6	1,0
2. Nòdul	5,3	0,2	—	—	—	—	4,6	—
3. S. clar	4,1	0,45	—	0,2	1,7	—		—
4. S. fosc	1,0	0,1	2,1	0,3	2,6	1,4		—
1. Gra metàl·lic	5,3	—	—	—	—	—	0,7	1
2. Nòdul	4,5	0,15	—	—	—	—	4,5	—
3. S. clar	3,0	0,3	0,4	0,6	1,3	0,3		—
4. S. fosc	1,3	—	1,9	0,4	2,3	1,65		—
1. Gra metàl·lic	6,3	—	—	—	—	—	0,8	1,2
2. Nòdul	6,2	0,2	—	—	—	—	5,3	—
3. S. clar	3,7	0,4	—	0,3	1,3	—		—
4. S. fosc	2,8	0,2	1,2	0,4	1,6	1,0		—
1. Gra metàl·lic	6,7	—	—	—	—	—	0,9	1,1
2. Nòdul	6,0	0,2	—	—	—	—	5,6	—
3. S. clar	3,3	0,3	—	0,6	1,3	0,3		—
4. S. fosc	2,1	0,1	1,3	0,3	1,8	1,6		—
1. Gra metàl·lic	5,6	—	—	—	—	—	0,8	1,1
2. Nòdul	5,3	0,2	—	—	—	—	5,2	—
3. S. clar	4,1	0,3	—	0,65	0,9	—		—
4. S. fosc	3,8	0,1	1,1	0,4	1,3	1,0		—

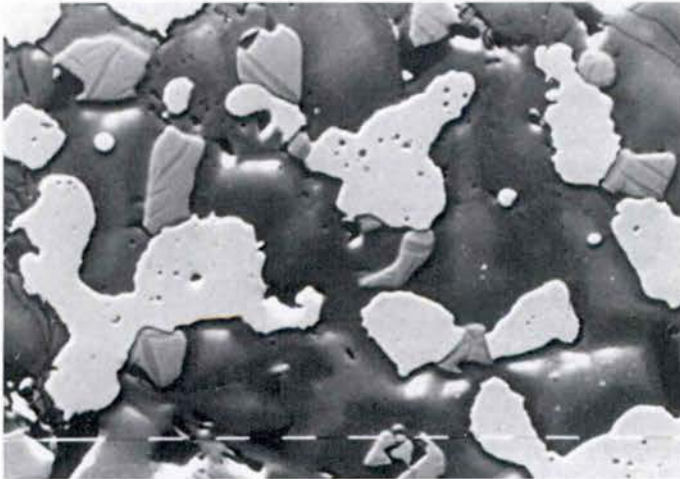


Fig. IV-38.

Taula IV-d. Mostra M-7.

	Fe	Mn	K	Ca	Si	Al	O	C
1. Gra metàl·lic	6,3	—	—	—	—	—	1,3	1,0
2. Nòdul	5,3	0,25	—	—	—	—	7,0	0,9
3. S. clar	4,0	0,45	—	0,1	1,2	—	8,0	—
4. S. fosc	1,6	0,15	2,0	0,4	2,8	1,1	8,6	—
1. Gra metàl·lic	5,0	—	—	—	—	—	1,0	1,0
2. Nòdul	4,6	0,2	—	—	—	—	7,7	—
3. S. clar	3,3	0,4	—	—	1,0	—	8,6	—
4. S. fosc	2,8	—	1,5	0,2	1,9	0,7	6,0	—
1. Gra metàl·lic	5,9	—	—	—	—	—		
2. Nòdul	7,0	0,25	—	—	—	—		
3. S. clar	3,8	0,5	—	—	1,4	—		
4. S. fosc	0,65	—	2,0	0,3	2,7	1,2		
1. Gra metàl·lic	4,9	—	—	—	—	—		
2. Nòdul	4,9	0,2	—	—	—	—		
3. S. clar	3,7	0,4	—	—	1,2	—		
4. S. fosc	0,5	—	2,3	0,3	2,9	1,3		
1. Gra metàl·lic	5,0	—	—	—	0,1	—		
2. Nòdul	4,9	0,15	—	—	—	—		
3. S. clar	4,2	0,3	—	—	0,5	—		
4. S. fosc	1,9	0,2	1,2	0,5	2,2	0,7		

Podem observar que en els grans d'òxid (Fe, Mn)O, apareixen textures provocades per petites variacions en la proporció de manganès.

De l'estudi fet a totes les provetes del masser, es poden treure les conclusions següents:

El masser és compost de ferrita, cementita, perlita i inclusions. Els elements constituents d'aquestes fases són: ferro, manganès, potassi, calci, silici, alumini, oxigen, carboni,. Al llarg del tall del masser, de baix a dalt, les fases estan disposades en l'ordre següent:

- Presència de ferrita (Fe) com a fase més abundant, cementita (Fe₃C) i perlita. Primer desapareix la perlita, després la cementita.
- Aparició d'òxid de ferro (Fe, Mn)O.
- Aparició d'un silicat de ferro-manganès (Fe, Mn)₂SiO₄.
- Aparició d'un silicat aluminic-potàssic, com a inclusió del silicat anterior. Té caràcter vitri.

Per tant, de baix a dalt del masser, hi ha un augment successiu de la quantitat d'oxigen, una disminució del ferro, i disminució del carboni fins a desaparèixer, encara que n'hem trobat a les cobertes metàl·liques que ha-

viem extret de la meitat alta del masser, essent substituïda aquesta fase metàl·lica decreixent per la fase òxid i la fase silicat creixents.

També s'ha fet un recompte de la quantitat de cada fase present —oxidada, cristal·lina, vítria o, el que és el mateix, blanca, gris clara i gris fosca— en les inclusions de les cares paral·leles a la base del masser, a les mostres M-3, M-5, M-7. Aquest recompte podria haver estat fet sobre el negatiu o positius obtinguts de fotografies de seccions polides de la mostra, però ens ha estat més ràpid i fàcil de fer-lo amb un analitzador d'imatge governat per un microprocessador, visualitzant les imatges a través d'un monitor, i això ens ha permès de llegir-ne moltes més.

Resultats:

M-3. Mitjana de 20 lectures, sobre 20 àrees d'anàlisi:

Wüstita:	19,206%
Silicat cristal·lí:	69,820%
Silicat vitri:	3,474%
	92,500%

M-5. Mitjana de 20 lectures, sobre 20 àrees d'anàlisi:

Wüstita:	27,041%
Silicat cristal·lí:	69,191%
Silicat vitri:	0,674%
	96,906%

M-7. Mitjana de 40 lectures, sobre 40 àrees d'anàlisi:

Wüstita:	34,982%
Silicat cristal·lí:	59,668%
Silicat vitri:	0,840%
	95,490%

*Mes tu, per tu mateix, digue'm: ¿què en penses?
"Es deu, jo crec, aquest conjunt divers,
a matèries que són més o menys denses".*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL V

LES ESCÒRIES

Previ a l'estudi de les escòries que hem realitzat, farem una revisió de la informació que aportaren els estudiosos de la farga, quan aquesta encara existia.

Tots coincideixen a dir que la grillada és la gran formadora de l'escòria.

Pelouse explica que el mineral en pols serveix per a augmentar el producte de la fosa i per a modificar i corregir l'estat de les escòries:

"Se n'afegeix més quan les escòries són massa fluïdes, i quan l'escòria és massa "grassa" (densa), se'n disminueix la quantitat. Així es fa variar la fluïdesa de l'escòria fins que l'òxid de ferro dissolt hi és en una certa proporció. Quan la quantitat d'òxid de ferro és més gran que la necessària (~ 60%) per al màxim de fluïdesa, les escòries s'endureixen i es colen amb dificultat".

També, segons Flachat, hi ha una relació entre la quantitat de grillada que s'ha usat i la quantitat d'escòria produïda. Aquest autor diu que:

"Els òxids de la grillada no es redueixen mai completament, es forma tanta més escòria i més carregada de ferro, com més se n'empra i és més rica. Cal, doncs, no portar més grillada al foc que la necessària per a formar el volum d'escòries indispensable a la conservació del masser".

Per a Richard, la formació de l'escòria correspon a la neutralització de la sílice pels diferents òxids metàl·lics existents. Sobre les escòries escriu:

“L'òxid de silici, element primordial de l'escòria, no és fusible ni volàtil a la més alta temperatura dels nostres forns. La seva acció sobre les bases no permet de dubtar que actua com un àcid. Amb l'òxid de ferro forma silicats. El ferro unit al carboni pot descompondre l'òxid de silici a alta temperatura, donant monòxid de carboni i ferro-silici. L'òxid de silici fent el paper d'àcid es combina a altes temperatures, igualment en presència de gasos carbonosos, amb els òxids metàl·lics o terrosos. És aquesta reacció la que permet d'extreure el ferro dels seus minerals. Les terres, la calç, l'alúmina, la magnèsia, l'òxid de manganès, formen amb l'òxid de silici, en els forns, silicats múltiples que essent, en general, fusibles, s'escapen amb el nom d'escòries, deixant el ferro en el forn. Podem dir que tot l'art de la farga catalana està a buscar els mitjans per formar silicats fusibles a la temperatura del forn. I, sobretot, que per a adquirir aquesta fusibilitat no necessitin endur-se'n una gran quantitat d'òxid de ferro. La composició del silicat influeix molt en la seva fusibilitat. S'admet, normalment, que els silicats múltiples són més fusibles que els d'una sola base. Respecte als simples, sembla que el de protòxid de ferro és molt fusible, també el de MnO. Els de CaO, MgO, Al₂O₃ són difícilment fusibles, però a la mateixa temperatura ho són més els primers que els segons, i aquests més que els tercers”.

També Percy planteja la problemàtica de les escòries de la manera següent:

“La fusibilitat de les escòries té una gran importància; quan són foses n'hi ha de líquides com l'aigua; altres són més o menys viscoses. Un cert grau de consistència és necessari. Si és massa líquida es corre el risc que flueixi juntament amb parts metàl·liques; si és massa espessa, els grans metàl·lics hi queden enganxats i no es disposen convenientment. S'han fet experiments sobre la seva fusibilitat, emprant un forn de vent, amb una xemeneia de 18 m d'alçària i cremant antracita, i obtenint fàcilment temperatures suficients per a fondre el manganès. De 96 proves amb diversos silicats, podem presentar algunes conseqüències.

1. Els silicats alcalins no prenen mai aspecte petri, donen sempre vidres.
2. Algun silicat d'alumini no és fusible a la temperatura del nostre forn, però els Al₂O₃, 2 SiO i Al₂O₃SiO, són els que s'amol·leixen més.
3. Entre els àlcalis, les terres alcalines i les terres, la propietat de fondre's creix i decreix com la força química de la base.

4. Entre els silicats metàl·lics senzills, la fusibilitat és més gran quan l'òxid que contenen té més energia química.
5. La fusibilitat dels silicats sembla dependre de tres causes: la fusibilitat pròpia de la base, la seva energia química i la proporció en què aquesta entra en el compost.
6. Quant als silicats dobles i múltiples, llur fusibilitat està en raó de la dels silicats elementals. Sembla que la fusibilitat dels silicats múltiples és més gran que la fusibilitat mitjana dels silicats components.
7. La calç, que forma amb la sílice compostos molt difícils de fondre, pot donar, amb gran nombre de silicats infusibles o poc fusibles, compostos que es fonen fàcilment. En el nostre forn el CaOSiO_3 es fon perfectament, mentre que el $3\text{CaO}_2\text{SiO}_3$ és infusible.
8. Entre els compostos que la sílice forma amb la calç i l'alúmina, els més fusibles estan compresos entre aquells, en què l'oxigen de la sílice és doble de l'oxigen de la calç i l'alúmina i aquells en què l'oxigen de la sílice és la meitat d'aquesta suma.

Finalment reproduïrem una taula (taula V-a) amb les anàlisis d'escòries de farga catalana, que publicà Richard.

Les anàlisis de les escòries núms. 6, 8 i 12, segons Richard, estan donades per Berthier. L'anàlisi núm. 14 representa la composició mitjana de totes les escòries que acompanyen la formació d'un masser. L'anàlisi núm. 16 correspon a François i ofereix els valors mitjans de vuit anàlisis d'escòries, tant amorfes com cristal·lines.

Taula V-a.

Núm.	Sílice	Calç	Magnèsia	Alúmina	Protòxid de ferro	Protòxid de manganès	Total
1	19,2	0,6	0,0	4,4	74,7	0,0	98,6
2	19,4	13,0	0,6	4,0	73,5	0,0	98,8
3	20,0	3,0	1,4	1,6	70,2	1,8	98,0
4	22,5	2,0	0,0	2,5	71,0	2,0	100,0
5	24,8	3,0	1,6	7,4	61,0	3,2	101,0
6	27,0	13,4	1,8	1,0	36,2	19,2	98,6
7	28,8	2,6	0,2	1,6	63,6	8,6	97,6
8	29,0	8,6	1,5	3,2	37,7	17,6	97,6
9	29,1	2,6	9,2	4,3	51,7	2,9	99,8
10	29,5	0,5	0,0	8,0	59,0	3,0	100,0
11	30,0	2,4	0,0	1,4	63,6	1,4	98,8
12	31,1	3,2	2,4	3,6	31,4	27,4	99,1
13	33,3	0,0	2,4	3,0	56,7	3,3	98,7
14	33,54	8,54	1,3	1,9	41,77	12,31	—
15	49,6	1,8	2,0	0,0	43,0	4,0	100,4
16	33,0	7,2	2,35	3,65	39,87	13,0	—

Procedència de les escòries

S'han recollit escòries de dues zones diferents. La major part són de la Farga de Can Jan, a la Vall de la Llosa (Cerdanya).

Se'n van recollir dos trossos en el marge del riu, i una gran quantitat de mostres en la zona de les deixalles de la farga.

Un grup són de la vall Ferrera (Pallars Sobirà). Seguint la costa dels Meners, d'Ainet de Besan fins al pic de Màniga, se n'han recollit mostres a la font de la Canaleta, als dipòsit de deixalles i al camí de Buiro.

En totes les explicacions del procés de la farga s'ha exposat que, al llarg d'aquest, les escòries que es colen tenen diferent aspecte i consistència, segons que l'operació estigui més o menys avançada. Les primeres que es colen son compactes, denses, formen plaques, són anomenades escòries pesants o grasses i són les que estan carregades de granalla de ferro. Les últimes, al contrari, poroses, esponjoses, vitrificades, són les escòries magres. D'altres són mixtes, és a dir participen dels dos caràcters (magres i grasses), són rebufades i esponjoses per sobre i compactes per sota, és a dir, en la part que ha tocat a terra en colar-se.

Com que, en recollir les mostres, n'hem trobades moltes d'aspecte semblant, n'han estat seleccionades unes quantes, que són les estudiades.

Les escòries escollides han estat senyalitzades, per a diferenciar-les entre elles, amb la lletra "E" (Escòria) seguida d'un número. Escòries estudiades:

E-1	Vall de la Llosa, magra
E-2	Vall de la Llosa, magra
E-3	Vall Ferrera, mixta
E-4	Vall Ferrera, mixta
E-5	Vall de la Llosa, grassa
E-6	Vall de la Llosa, grassa
E-7	Vall Ferrera, grassa

Per l'aspecte extern les hem classificades en els tres grups indicats d'una manera provisional, quedant clar que tan sols l'estudi complet pot permetre d'interpretar el veritable caràcter de les escòries.

Estudi de les escòries

Escòries E-1. E-2, de la Vall de la Llosa. Són poroses, trencadisses, vídrioses i molt oxidades.

En observar al microscopi les superfícies polides dels talls de cada mostra, veiem que es diferencien essencialment en el fet que, mentre que a la mostra E-1 l'interior dels porus o forats, de què és plena, té una aparença més o menys llisa, a la superfície de l'interior dels forats de la mostra E-2 es veuen cadenes de creixements dendrítics, com el que mostra la fig. V-1, que, portades a més augments com en la figura V-2, deixen veure partícules petitíssimes que traspuen dels nòduls dendrítics.

Feta l'anàlisi de llur composició, per energia dispersiva de raigs X, s'han obtingut els recomptes:

Elements	E-1	E-2
Mg	1,672%	0,996%
Si	12,145%	5,403%
Ca	1,487%	2,022%
K	1,501%	2,500%
Mg	0,164%	0,089%
Mn	0,471%	3,151%
Fe	82,557%	85,831%

En el programa, només poden entrar-hi set components. Per això, no s'hi ha pogut incloure el titani, del qual apareixen traces. I el percentatge dels elements és fet sense tenir en compte l'existència de l'oxigen.



Fig. V-1.

Feta posteriorment l'anàlisi per difracció de raigs X de la pols treta de cada mostra, s'ha obtingut:

E-1	E-2
Faialita (Fe_2SiO_4)	Faialita
Dolomita ($(\text{CaMg})\text{CO}_3$)	Dolomita
Hematites (Fe_2O_3)	Hematites
Diòpsid ($(\text{Ca}(\text{FeMg})\text{Si}_2\text{O}_6)$)	Diòpsid

Per tant, no s'han detectat variacions qualitatives, que diferenciïn l'escòria E-1 de la E-2.

Escòria E-3, de la vall Ferrera. Aquesta escòria és la que té l'aparença més bonica de les moltes del mateix tipus que hem trobat. La seva part superior és formada per regalims de superfície llisa, brillant, però, com mostra la fig. V-3, la part inferior és porosa, inflada, amb cavitats. Per això, l'anomenem escòria mixta.

El tall fet per al seu estudi ha estat realitzat de baix a dalt perpendicular a la superfície llisa. En l'observació microscòpica es veu la part baixa plena de porositats que van desapareixent en anar cap amunt, i bandes, d'aproximadament 1 cm d'amplada, amb acumulació de grànuls en les vores d'aquestes, i creixements dendrítics entre elles. La figura V-4 mostra

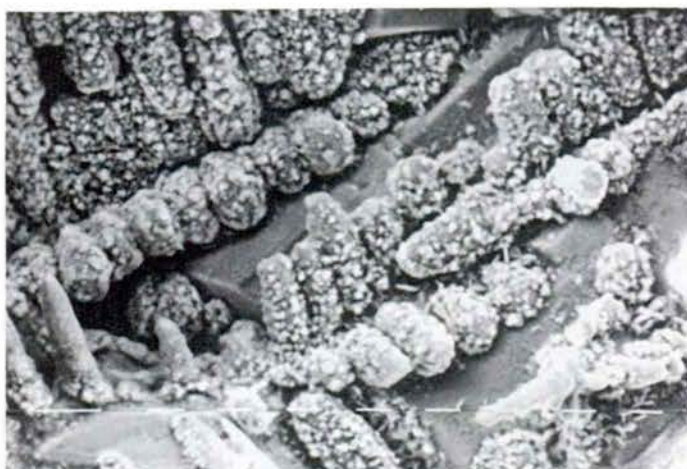


Fig. V-2.

tres zones de solidificació 1 - 2 - 3. Les zones 2 i 3, d'estructura diferent, presenten entre elles una paret de gra fi. La zona 1 ha estat la primera a solidificar-se, i a sobre s'hi ha dipositat el regalim dendrític. El límit de separació de les zones 1 i 2 amb la 3 indica que hi ha hagut un front de solidificació amb un gradient tèrmic que va disminuint de la vora granular a la part interna del regalim, ja que la mida de les dendrites augmenta ràpidament, i les cavitats esfèriques que es veuen són les porositats degudes als gasos atrapats.



Fig. V-3.

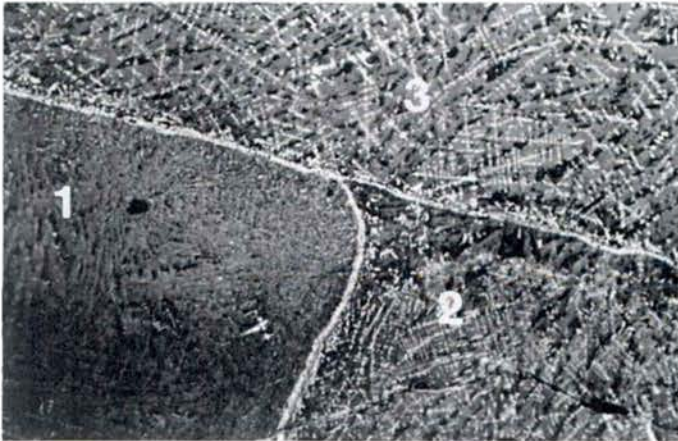


Fig. V-4.

Els creixements dendrítics semblen de wüstita, amb grans idiomòrfics. Aquests, dins el regalim, són els primers a solidificar-se, començant a formar cristalls a la matriu, líquida encara. La figura V-5, mostra un límit de paret del regalim, i la figura V-6 un creixement dendrític. També s'observen zones que corresponen a una solidificació eutèctica de silicats, estructura que es troba repetides vegades però que no és representativa de tota la matriu.

L'anàlisi de pols per difracció de raigs X, ha confirmat que l'estructura dendrítica granular era wüstita. El resultat ha estat:

E-3: Wüstita
Faialita

L'anàlisi elemental qualitativa, per energia dispersiva de raigs X, ha donat:

E-3: Ferro, manganès, calci, potassi, silici, alumini, oxigen, carboni.

En fer l'anàlisi del percentatge de carboni de la pols de l'escòria E-3, s'ha obtingut:

1. Amb 0,5 g de pols: 0,02 % C
2. Amb 1 g de pols: 0,04 % C

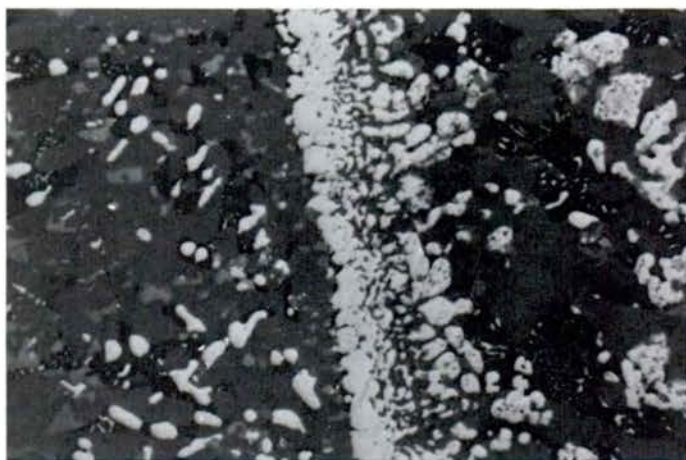


Fig. V-5.



Fig. V-6.

Aquest carboni només pot trobar-se en els grans metàl·lics que hi ha inclosos dins l'escòria.

Escòria E-4, de la vall Ferrera. En tallar aquesta escòria hi ha aparegut una textura, a ull nu, molt semblant a la de l'escòria E-3, i en observar-la al microscopi es visualitzen, igualment, bandes amb acumulació de grànuls a les vores de les parets, i, en aquestes bandes, creixements dendrítics sobre un fons de silicats. La figura V-7 mostra a la part inferior una zona molt silicatada, de solidificació prèvia, sobre la qual s'ha dipositat una banda amb paret de gra molt fi. En el centre de la mateixa figura apareix un creixement dendrític en el qual, observat a més augments i analitzades les dendrites per energia dispersiva de raigs X, aquestes dendrites han resultat estar formades per:

ferro, manganès, oxigen, carboni (traces)

Havent fet repetides anàlisis de les tres fases: dendrites, silicat clar i silicat fosc, sempre s'ha obtingut:

Dendrites: ferro, manganès, oxigen.

Silicat clar: ferro, manganès, silici, oxigen.

Silicat fosc: ferro, manganès, calci, potassi, silici, alumini, oxigen.



Fig. V-7.

La distribució quantitativa dels elements present en les diferents fases és aquesta:

- ferro: major quantitat en les dendrites que en el silicat clar, i en aquest més que en el silicat fosc.
- manganès: major quantitat en el silicat clar que en les dendrites, i en aquestes més que en el silicat fosc.
- silici: major quantitat en el silicat fosc que en el clar.
- oxigen: sembla que n'hi ha igual quantitat en els dos silicats.

Escòria E-5, de la vall de la Llosa. Aquesta és una escòria formada per un sol regalim de poc més d'un centímetre de diàmetre. És llustrosa, amb esclat metàl·lic; sembla "grassa", densa. N'han estat tallades les dues puntes, i la part interna d'ambdues és compacta, exceptuant una sola cavitat, en la part central de la meitat dreta, d'uns dos mil·límetres de diàmetre.

Observada al microscopi es veuen, com a les anteriors, creixements dendrítics sobre un fons format per dos tipus de silicats. Però també s'hi observen grans més brillants ferrítics, comptats fins a un nombre de cinquanta a la superfície de $\sim 1 \text{ cm}^2$ observada. La figura V-8 mostra tot el que hem exposat, i s'hi veu un gra metàl·lic al centre de la part superior.

Correspon a la vora de la part inferior del regalim, lloc on s'observa més acumulació de grans metàl·lics. La figura V-9 mostra un dels grans metàl·lics ampliat.

Els grans metàl·lics observats sembla que no tots tenen la vora del gra ben definida, com si sortissin o estiguessin envoltats d'una altra substància d'una tonalitat no tan clara. Una estructura d'aquest tipus descrit, en què

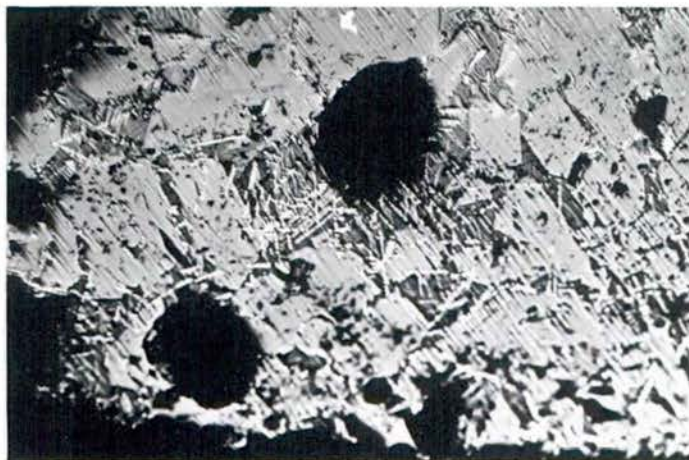


Fig. V-8.

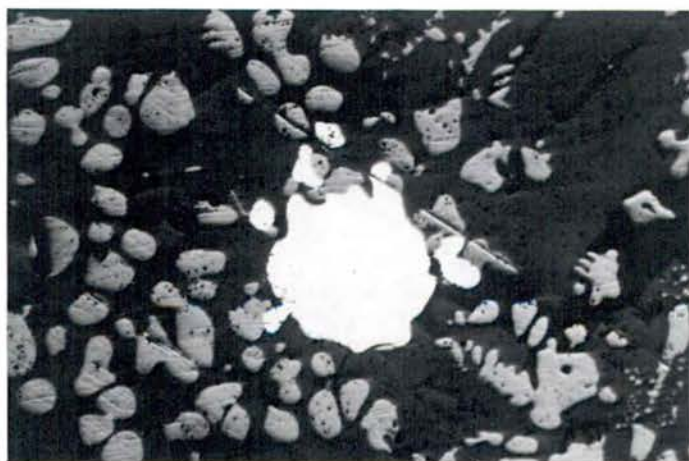


Fig. V-9.

es té la impressió que una forma cristal·lina neix de l'altra, és la que es mostra en la figura V-10, ampliada en la figura V-11, i acompanyada d'un esquema en el qual han estat marcats amb números els punts on s'ha fet l'anàlisi dels elements que componen les diferents parts.

Els resultats de les anàlisis són:

Núm. 1. Formació central:	ferro, manganès, carboni
Núm. 2. Límits extern i intern:	ferro, manganès, oxigen, carboni
Núm. 3. Cercle extern i llàgrimes:	ferro, manganès (traces), oxigen
Núm. 4. Silicat gris clar:	ferro, manganès, silici, oxigen
Núm. 5. Silicat gris fosc:	ferro, calci, potassi, silici, alumini, oxigen.

S'han repetit totes les anàlisis, tot senyalitzant les intensitats de cada element:

Taula V-b.

Elements	Fe	Mn	Ca	Si	Al	Mg	O ₂	C
Centre metàl·lic	25.816	15	—	—	—	—	181	400
Part interna	15.079	488	—	—	—	—	1.693	300
Vora circular	17.790	358	—	—	—	—	1.977	288
Dendrites	23.319	567	—	—	—	—	3.512	190
Silicat clar	9.336	737	—		—		—	—
Silicat fosc	3.216	172						—
Silicat envoltant dendrites	14.957	1.604	—	6.782	223	143		—

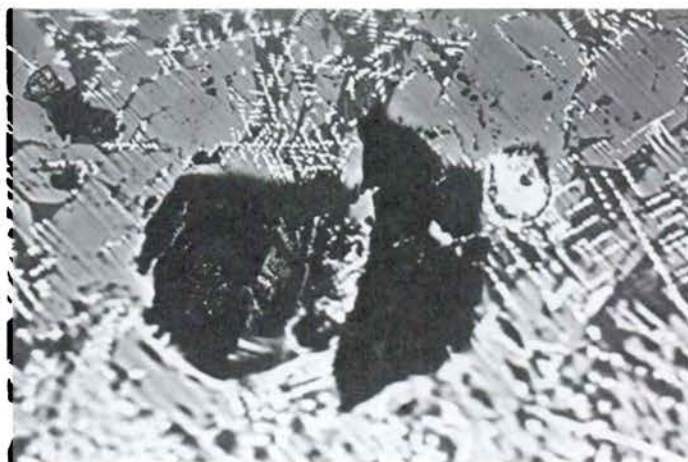


Fig. V-10.



Fig. V-11.

Les ratlles verticals indiquen que hi ha l'element, però aquest no ha estat mesurat. Les ratlles horitzontals indiquen que no conté l'element.

S'han cercat altres zones en què tornessin a aparèixer aquests creixements metàl·lics en una vora de gra, i alhora hi hagués nòduls i el silicat de fons, i s'han fet els mesuraments, per energia dispersiva de raigs X, de les intensitats dels elements pesants constituents. S'han fet tres grups d'anàlisis, tot designant les diferents parts així: 1, 2, 3, 4 -A, B, C, D- R, S, T, U. Els resultats obtinguts són:

Taula V-c.

		Fe	Mn	Si	Al	Ca	K	Mg
Part met.	1	60.684	702	234	131	—	111	—
Gra	2	30.515	787	2.408	13.321	74	948	495
Nòdul	3	42.173	323	6.130	2.639	351	5.314	120
S. fons	4	8.117	171	21.339	9.377	1.405	19.656	518
Part met.	A	60.061	517	490	358	87	211	—
Gra	B	31.392	863	1.611	13.599	—	10	445
Nòdul	C	38.939	208	7.590	3.192	504	6.503	62
S. Fons	D	17.072	191	20.835	9.399	1.343	16.778	618
Part met.	R	60.127	359	689	434	28	497	—
Gra	S	44.189	2.058	8.990	472	1.426	68	101
Nòdul	T	49.814	133	5.802	2.544	97	3.725	113
S. fons	U	11.268	174	21.204	9.384	1.811	18.244	585

Escòria E-6 de la vall de la Llosa. Es tracta, també, d'una escòria de regalims molt llustrosa i fina, amb lluentor de plom, que sembla molt compacta, però que, per dins, és més porosa que no aparenta al seu exterior.

En observar al microscopi la superfície del tall, s'hi veuen vores nodulars formant paret i una gran quantitat de creixements dendrítics sobre el fons dels dos silicats. Hi ha grans metàl·lics, els uns en forma de llàgrima, els altres circulars. Però, totes les fases sembla que tinguin creixements de proporcions inferiors a les de les altres escòries.

La figura V-12 mostra un front de solidificació, i a la figura V-13 s'observa una segregació metàl·lica amb un porus central, paral·lela a la vora de paret. Analitzada aquesta, els grànuls que l'envolten i els dos silicats, per energia dispersiva de raigs X, s'obté:

Segregació: ferro

Grànuls: ferro, manganès (traces), oxigen

Silicat clar: ferro, manganès, silici, oxigen

Silicat fosc: ferro, potassi, silici, alumini, oxigen.

Com que en tota la superfície de la mostra s'observen constantment els quatre tipus de formacions: metàl·lica, dendrítica, cristal·lina i vítria, hem fet, repetides vegades, l'anàlisi puntual, per energia dispersiva de raigs X, dels elements que componen cadascuna de les fases. Sempre s'hi ha trobat:

Gra metàl·lic: ferro, o ferro i carboni

- Dendrita: ferro, manganès, oxigen
Silicat clar: ferro, manganès, silici, oxigen; de vegades, traces de calci
Silicat fosc: ferro, manganès (traces), potassi, silici, alumini, oxigen.

Escòria E-7 de la vall Ferrera. La superfície del tall fet a aquesta escòria és bastant gran, aproximadament de $2 \times 2,5$ cm. S'hi observen vores de

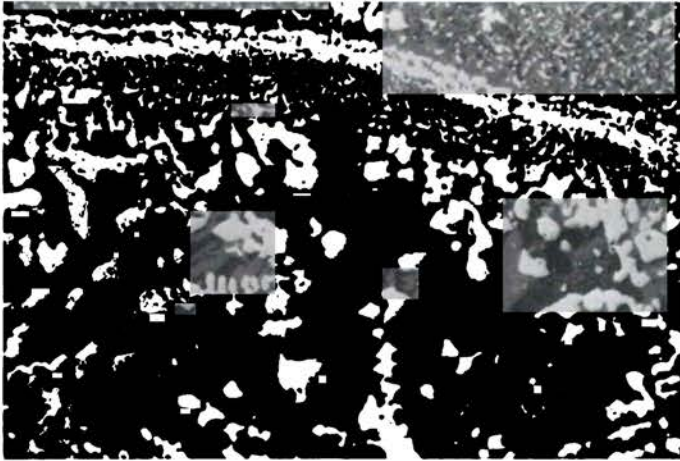


Fig. V-12.

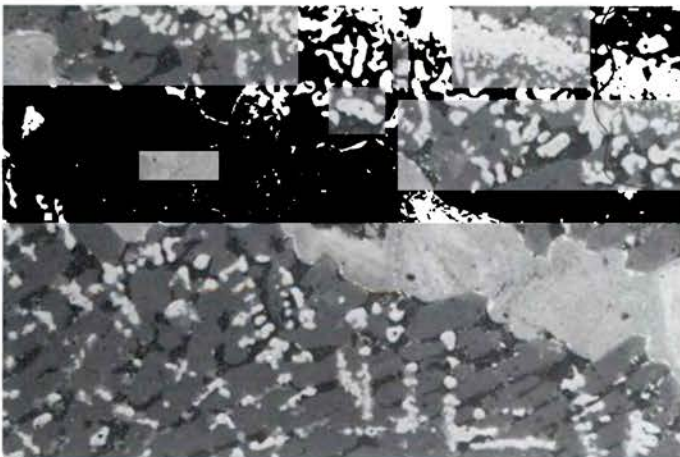


Fig. V-13.

paret, creixements dendrítics, formacions metàl·liques i els dos tipus de silicats; tot això, entre cavitats de petites dimensions. Amb la imatge més augmentada, la figura V-14 mostra una llàgima metàl·lica, com se'n troben moltes a la mostra, envoltada per dendrites i els dos silicats. L'esquema del costat de la figura indica els punts de la superfície de la mostra que han estat analitzats. Els resultats són:

Gra metàl·lic: ferro

Dendrites: ferro, manganès, oxigen, carboni (traces)

Silicat clar: ferro, manganès, silici, oxigen

Silicat fosc: ferro, manganès, calci, potassi, silici, alumini, oxigen.

A la figura V-15, s'hi veu una bola al centre, que sembla que tingui una part metàl·lica i una altra de no metàl·lica, envoltada també per dendri-

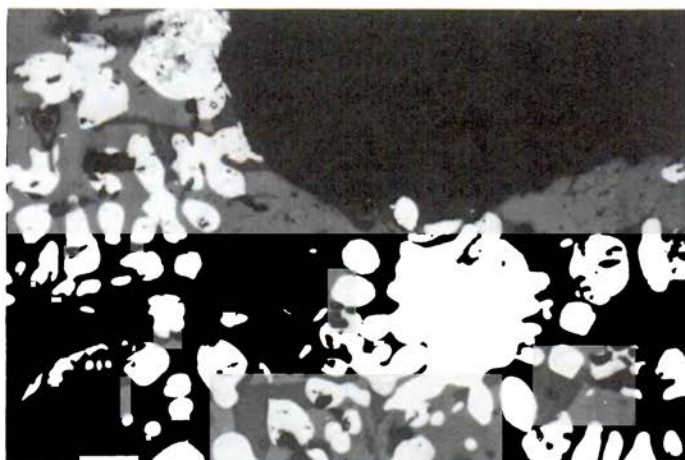


Fig. V-14.

tes i els dos silicats. Fent l'anàlisi en els punts indicats a l'esquema, obtenim:

- Cercle metàl·lic 1: ferro, carboni (traces)
- Cercle metàl·lic 2: ferro, oxigen (traces)
- Dendrites 3: ferro, manganès, oxigen
- Silicat clar 4: ferro, manganès, silici, oxigen
- Silicat fosc 5: ferro, manganès, calci, potassi, silici, alumini, oxigen.

Per a poder estudiar com es distribueixen els constituents en les diferents fases que formen l'escòria, hem repetit les anàlisis d'aquesta, en zones diferents de la mostra, tot anotant les intensitats $\kappa\alpha$ de cada element constituent i prenent les dades directament del monitor de l'EDAX. Els resultats han estat:



Fig. V-15.

Taula V-d.

	Fe	Mn	Ca	K	Si	Al	Mg	Escala	O ₂	C
Gra met.	8,0	—	—	—	—	—	—	1 KV	—	1,0
Nòdul	5,75	0,3	—	—	—	—	—	1 KV	6,2	—
S. clar	3,5	0,5	0,25	—	1,35	—	—	1 KV	7,4	—
S. fosc	1,8	0,2	1,0	1,0	1,8	1,0	—	1 KV	6,75	—
Gra met.	5,8	—	—	—	—	—	—	2,5 KV	3,0	2,3
Nòdul	5,1	0,25	—	—	—	—	—	5 KV	8,2	1,25
S. clar	3,1	0,45	0,1	—	2,0	—	0,3	5 KV	9,3	—
S. fosc	1,8	0,3	1,0	0,9	2,3	1,1	—	5 KV	8	—
Gra met.	5,0	—	—	—	—	—	—	2,5 KV	1,9	1,9
Nòdul	4,8	0,25	—	—	—	—	—	5 KV	6,7	—
S. clar	3,2	0,4	0,15	—	1,9	—	0,2	5 KV	7,5	—
S. fosc	1,8	0,25	1,0	0,8	2,2	1,1	—	5 KV	7,25	—
Gra met.	8,1	—	—	—	—	—	—	2,5 KV	1,3	2,2
Nòdul	5,7	0,3	—	—	—	—	—	5 KV	4,2	—
S. clar	3,2	0,4	—	—	1,8	—	0,3	5 KV	7,0	—
S. fosc	3,1	0,2	0,75	0,5	1,8	1,0	—	5 KV	6,0	—
Gra met.	7,7	—	—	—	—	—	—	2,5 KV	1,6	2,0
Nòdul	5,3	0,35	—	—	—	—	—	5 KV	7,1	1,2
S. clar	4,0	0,55	0,3	—	2,0	0,2	—	5 KV	8,0	—
S. fosc	1,6	0,2	1,2	1,0	2,3	1,4	—	5 KV	6,5	—
Gra met.	5,6	—	—	—	—	—	—	2,5 KV	1,6	1,6
Nòdul	4,9	0,25	—	—	—	—	—	5 KV	5,8	—
S. clar	3,4	0,4	0,3	—	1,3	0,1	—	5 KV	6,4	—
S. fosc	2,0	0,3	0,7	0,7	1,4	0,9	—	5 KV	6,2	—

S'ha de tenir en compte que els resultats no són directament comparables, a causa de canvis d'escala.

En observar les zones a més augments, es veu que dins els silicats també hi ha dendrites, com a la fotografia 5-16 en què s'observa una part metàl·lica i una altra de formada per ferro, manganès i oxigen, reproduint-s'hi els resultats obtinguts anteriorment.

Conscients de les limitacions que imposava el fet de prendre les dades directament del monitor, sobretot pels elements que es troben en la mostra en petítissima proporció, hem repetit les anàlisis, per energia dispersiva de raigs X, prenent en l'ordinador les intensitats dels pics de les α del ferro i el manganès i amitjanant quatre anàlisis per cada gra metàl·lic. A continuació hem fet el mateix amb el gra d'òxid en contacte amb el gra metàl·lic, o amb el trobat més proper a aquest.

Taula V-e.

Gra metàl·lic		Gra d'òxid	
1.	I_m de Fe = 142895 I_m de Mn = 23,66	I_m de Fe = 33609 I_m de Mn = 607	
2.	I_m de Fe = 150868 I_m de Mn = 69,5	I_m de Fe = 30271 I_m de Mn = 607	
3.	I_m de Fe = 148194 I_m de Mn = 72,67	I_m de Fe = 33713 I_m de Mn = 695	
4.	I_m de Fe = 142397 I_m de Mn = 44,33	I_m de Fe = 33045 I_m de Mn = 700	
5.	I_m de Fe = 136682 I_m de Mn = 51	I_m de Fe = 32108 I_m de Mn = 970	
6.	I_m de Fe = 131914 I_m de Mn = 74,8	I_m de Fe = 32693 I_m de Mn = 700	
7.	I_m de Fe = 131282 I_m de Mn = 39,5	I_m de Fe = 32764 I_m de Mn = 848	
8.	I_m de Fe = 127799 I_m de Mn = 35	I_m de Fe = 32555 I_m de Mn = 777	
9.	I_m de Fe = 129600 I_m de Mn = 30,67	I_m de Fe = 32118 I_m de Mn = 680	

I_m és el valor mitjà de la intensitat de quatre anàlisis.

Abans de donar per acabat l'estudi experimental de les escòries, s'ha fet pols del que semblaven tres tipus d'escòries diferents, i les hem numerades: núm. 9, núm. 10, núm. 11. Part d'aquesta pols ha estat usada per a fer l'anàlisi del carboni contingut en la seva part metàl·lica. S'han fet dues anàlisis de cada mostra de pols, i els resultats obtinguts són:

Carboni		
Mostra	1	2
E: núm. 9	0,07%	0,10%
E: núm. 10	0,12%	0,13%
E: núm. 11	0,16%	0,20%



Fig. V-16.

Amb una altra part de la pols de cada una de les escòries, s'ha fet l'anàlisi quantitativa dels diversos constituents per la tècnica d'espectrofotometria de fluorescència de raigs X.

Els resultats obtinguts són, en percentatge:

Escòries	E-9	E-10	E-11
SiO ₂	19,32%	22,9%	16,45%
Al ₂ O ₃	3,14%	3,38%	2,71%
FeO	69,11%	65,45%	74,18%
MnO	3,20%	3,42%	1,96%
CaO	1,30%	1,12%	0,64%
K ₂ O	0,77%	0,65%	0,56%
MgO	3,77%	3,72%	3,76%

Amb la resta de la pols de cada una de les tres mostres E-9, E-10 i E-11, s'ha fet l'anàlisi mineralògica per difracció de raigs X. Els resultats són:

E-9: wüstita (FeO)
knebelita (FeMn)₂ (SiO₄)

E-10: wüstita (FeO)
knebelita: (FeMn)₂(SiO₄)

E-11: wüstita (FeO)
knebelita (FeMn)₂ (SiO₄)

Amb les tres mostres estudiades al microscopi de les escòries E-3, E-4, E-5, s'ha fet, en llur superfície polida, el recompte del percentatge de les fases: wüstita, knebelita i silicat vitri, amb l'analitzador d'imatge.

Els resultats obtinguts són:

E-3: Mitjana de 40 lectures sobre 40 àrees d'anàlisi:

Fase 1. wüstita:	29,241%
Fase 2. silicat vitri:	15,124%
Fase 3. knebelita:	54,104%
	98,469%

E-4: Mitjana de 20 lectures sobre 20 àrees d'anàlisi:

Fase 1. wüstita:	18,069%
Fase 2. silicat vitri:	10,448%
Fase 3. knebelita:	55,854%
	84,371%

E-5: Mitjana de 20 lectures sobre 20 àrees d'anàlisi:

Fase 1. wüstita:	12,801%
Fase 2. silicat vitri:	15,960%
Fase 3. knebelita:	63,776%
	92,537%

Resumint les observacions fetes a les escòries estudiades, podem veure que apareixen dos grups clarament diferenciats:

Les mostres E-1 i E-2, són compostes per faialita, dolomita i piroxè diòpsid. Les textures i l'aspecte són diferents dels observats a les altres mostres, i en el cas de les mostres E-1 i E-2, com que es trobaren en el marge del riu i, per tant, en situació d'ésser fortament alterades no han estat tingudes en compte.

Les mostres E-3 a E-7, procedents dels dipòsits d'escòries de les farques de la vall de la Llosa i de la vall Ferrera, són totes molt semblants. Són escòries silicatades formades pel silicat knebelita $(\text{MnFe})_2\text{SiO}_4$ i silicat aluminic, potàssic, càlcic, en estat vitri i per tant, no detectable per difracció de raigs X, i que al microscopi apareix en forma heterogènia. Aquests sili-

cats contenen nòduls de ferro metàl·lic amb carboni i dendrites d'òxid de ferro.

Podem concloure, per tant, que, en les escòries de farga catalana, els elements que les componen estan distribuïts formant tres fases, a més de les partícules metàl·liques aïllades que hi ha a les escòries grasses. Fent anàlisis en diferents punts de la mostra, hem trobat, repetidament, que la fase de color blanc és constituïda per ferro i oxigen, la fase de color gris clar, cristal·lina, és formada per ferro, manganès, silici i oxigen, i la fase de color gris fosc, intersticial, per oxigen, silici, potassi, calci, alumini i magnesi (podent no ser-hi simultàniament aquest tres últims elements), trobant-se algunes vegades acompanyats pel ferro i el manganès, però, aquí, en molta menor proporció que en el silicat cristal·lí. En aquest silicat vitri, on es recullen part dels elements que hi ha a les terres que acompanyen la mena, s'hi afegeix l'element potassi, incorporat per les cendres del carbó de llenya.

*Si fos sols qüestió de densitat,
una sola virtut només hi hauria
en tots ells, més, o menys, o amb igualtat.*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL VI

MOSTRES DE FERRO

Procedència de la mostra

La mostra de ferro de què disposarem per a l'estudi pertany a l'antic rellotge de la catedral de Barcelona. Aquest rellotge fou el cinquè que va tenir la ciutat.

Recordem, per ordre cronològic, la seva història:

El 1575, Simó Nicolau i Climent Ossen foren contractats per fer un rellotge nou, el cinquè, que havia de pesar cinc tones, amb un cost de 6.000 lliures.

El 1577, el dia 14 de setembre, s'inaugurà el nou rellotge amb campanes per als quarts i les hores.

El 1578, es donà per bo oficialment el rellotge nou.

El 1685, es transformà en rellotge de pèndol, substituint l'antic sistema d'esperit.

El 1773, amb motiu de l'avalot de les quintes, les campanes tocaren a sometent. El govern manà trossejar les campanes de les hores i els quarts, i els bastiments.

El 1975, la Universitat Politècnica de Barcelona proposà al Museu d'Història restaurar el rellotge que havia estat substituït el 1865 per l'actual rellotge de la ciutat.

El 1977, el rellotge quedà restaurat, amb l'escapament original d'esperit, i posteriorment fou traslladat a la capella de Santa Àgata, lloc que ocupa actualment.

Els Srs. Agulló i Vergés (U.P.C.) van ésser els professors encarregats de la seva restauració, i els que proporcionaren els trossos d'un engranatge trencat per al seu estudi.

Per la datació del rellotge, del segle XVI, i pel lloc d'origen, sembla molt adequat de suposar que el ferro amb què va ésser construït era ferro de farga. Per això, hem fet el seu estudi pressuposant que ho era, però, també, per tal de comprovar-ho.

Estudi de la mostra

Del tros d'engranatge de l'antic rellotge de la catedral, s'han preparat dues provetes. Aquestes provetes han estat estudiades mitjançant el microscopi òptic, el microscopi electrònic i analitzades per energia dispersiva de raigs X, amb l'EDAX.

Al microscopi òptic, es veu que totes dues mostres són formades per ferrita, cementita i perlita. Tenen alguns porus, però no en massa quantitat. Els grans de ferrita estan deformats i tenen forma allargada, i això indica que la peça va ésser forjada. La solució de ferro i carboni, austenita, formada a alta temperatura, en refredar-se s'ha transformat en cristalls de ferro (ferrita), cristalls de carbur de ferro (cementita) i grans de composició eutectoide amb 0,90% de C (perlita).

La figura VI-1 correspon a un aspecte de la primera proveta, i la figura VI-2 és una imatge obtinguda a més augments, en la qual es veu la disposició de la perlita.



Fig. VI 1.

Les figures VI-3 i VI-4 corresponen a la segona proveta, que té unes dimensions de gra més uniformes, amb els grans més equidimensionals, però amb la mateixa disposició de la ferrita i la perlita.

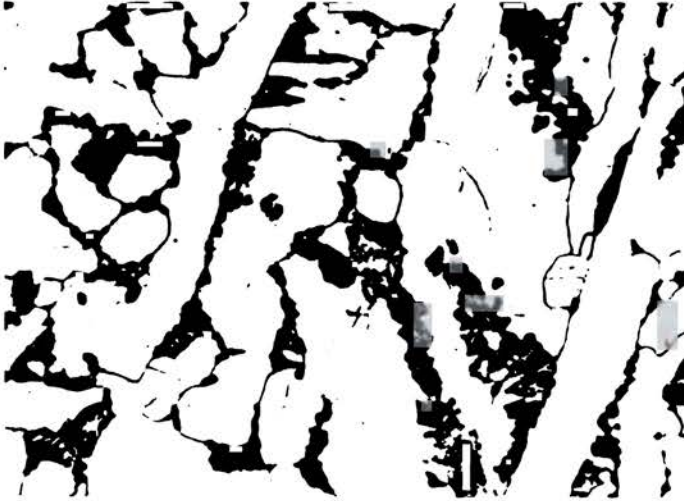


Fig. VI-2.



Fig. VI-3.

En les dues mostres hi ha poques inclusions, per bé que aquestes són característiques.

La figura VI-5 mostra un tipus d'inclusió. Un gra fosc presenta una sèrie de cristalls allargats més clars, que, alhora, mostren un nucli més fosc, també allargat.

Efectuada l'anàlisi qualitativa, per energia dispersiva de raigs X, s'obtingué el resultat següent:

Material exterior a la inclusió: ferro. És la ferrita del metall.

Fons gris fosc de la inclusió: silici, alumini, calci, potassi i (en menor proporció que en els cristalls gris clar) ferro i manganès. Es tracta de l'alumini-silicat de calci-potassi vitri, propi de les escòries de la farga catalana.

Cristalls allargats gris clar de la inclusió: silici, ferro, manganès. És la knebelita que s'observa en les escòries de la farga catalana.

Nucli més fosc dels cristalls allargats: silici, ferro, manganès, magnesi.

La presència de magnesi indicava això que segueix:

El silicat de fórmula $A_2(\text{SiO}_4)$ es pot considerar derivat de tres components: forsterita Mg_2SiO_4 , faialita Fe_2SiO_4 , i tefroïta Mn_2SiO_4 . Els olivins corresponen als cristalls de composició entre forsterita i faialita, i les knebelites són els cristalls de composició entre faialita i tefroïta. Els silicats ferro-mangànics observats fins ara corresponen a aquests últims. Al masser i a les escòries no s'ha observat la presència de magnesi. Però a la mostra del rellotge apareix aquest element, possiblement com a conseqüència

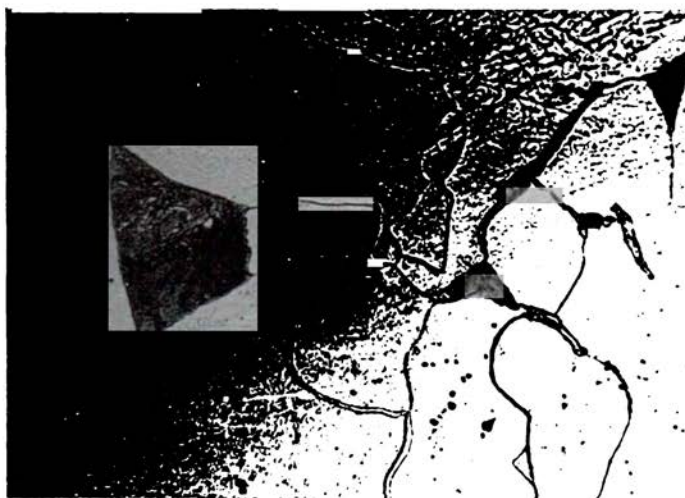


Fig. VI-4.

d'una diferent composició en les menes de les quals s'ha obtingut el metall, i, en aquest cas, es veu que es concentra dins la tefroïta, en les zones més interiors del cristall, com a conseqüència d'un enriquiment en magnesi dels estadis inicials de creixement d'aquest.

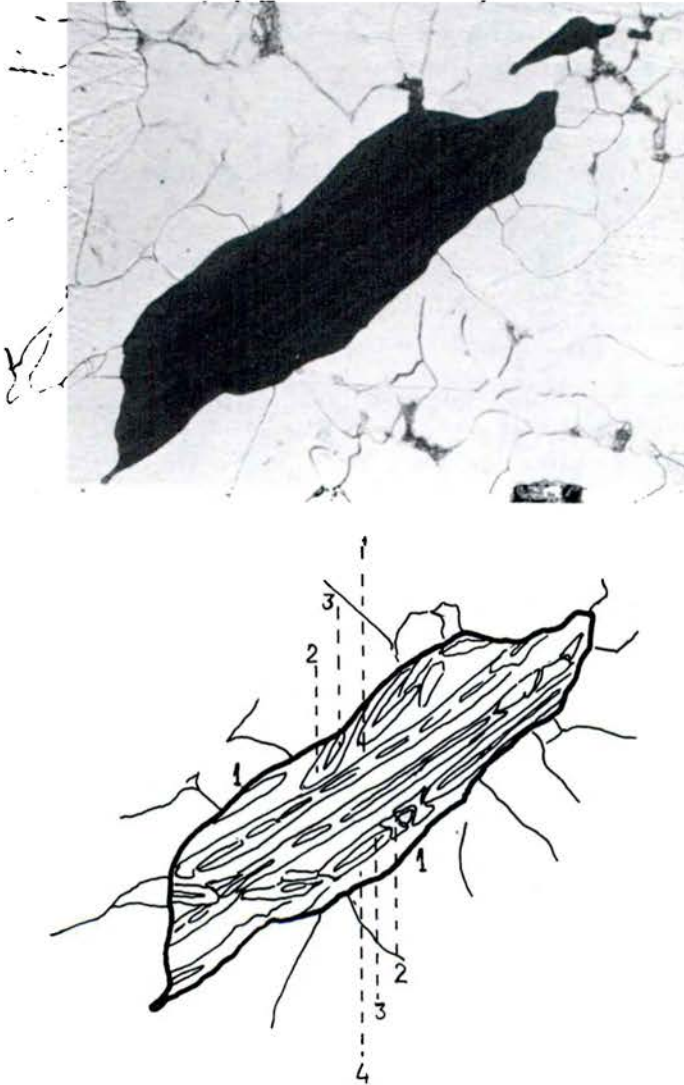


Fig. VI-5.

Les figures VI-6 i VI-7 corresponen a un altre tipus d'inclusió observada. Havent fet l'anàlisi puntual de les diferents parts, i havent-la repetida dues vegades en zones diferents, indicant les intensitats obtingudes per a cada element, tenim:

Taula VI-a.

	Fe	Mn	Si	Al	Ca	K	Mg	C	O ₂
Vora metàl·lica	8,2 - 1,3	—	—	—	—	—	—	2,0	—
Dendrita	5,0 - 0,7	0,2	0,4	0,15	—	0,2	—	1,8	4,5
Silicat clar	3,0 - 0,45	0,3	1,5	—	0,2	0,3	—	—	4,3
Silicat fosc	1,9 - 0,3	0,15	1,4	0,5	0,5	0,8	—	—	4
Vora metàl·lica	9,0 - 1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
Dendrita	4,1 - 0,6	0,2	1,3	0,5	0,4	0,8	—	—	3,7
Silicat clar	3,4 - 0,6	0,35	1,5	0,05	0,05	0,05	0,2	—	3,8
Silicat fosc	1,9 - 0,3	0,2	2,0	0,7	0,7	1,2	—	—	3,6

Els resultats obtinguts permeten d'afirmar que es tracta de les mateixes estructures trobades al masser i a les escòries estudiades: dendrites de wüstita dins una barreja del silicat knebelita $(\text{Fe, Mn, Mg})_2\text{SiO}_4$ i del vidre d'alumini-silicat $(\text{K, Ca})[(\text{SiAl})_4\text{O}_8]$. Una de les anàlisis indica la presència



Fig. VI-6.

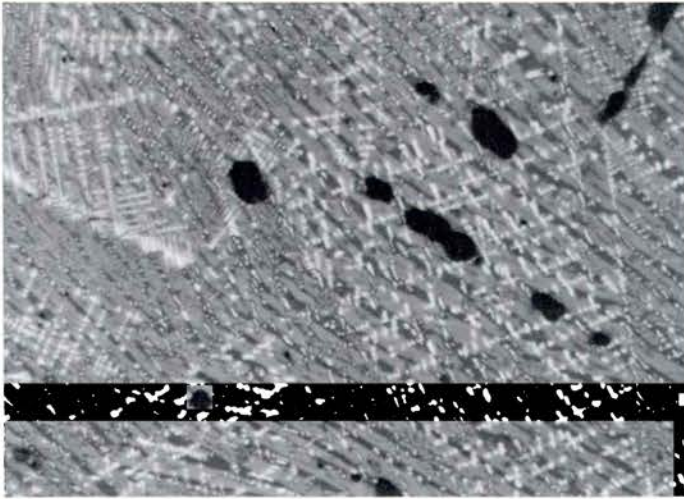


Fig. VI-7.

de magnesi a la knebelita; però, a causa de les petites dimensions dels cristalls, no s'observa el nucli central més olivínic, a diferència del que veiem a la inclusió anterior.

Per tant, queda confirmat que les peces estudiades han estat fabricades amb material obtingut en una farga catalana.

*De l'error despullat ton intel·lecte,
a mi informar-lo de tal llum m'escau,
que d'un gran espurneig tindrà l'aspecte.*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL VII

Interpretació metal·lúrgica

La farga catalana és un procés d'obtenció del ferro, que presenta unes peculiaritats que el diferencien de les altres tècniques utilitzades en l'obtenció d'aquest metall. A diferència de l'alt forn, on el metall es cola en forma de fosa, a la farga el ferro s'obtenia en forma de bloc sòlid, el masser, que s'havia de treure del forn al final de l'operació. Aquesta característica és comuna a la gran majoria de tècniques de caràcter pretecnològic.

Un segon aspecte és que la farga catalana treballa amb un forn de cup baix, i això és una primera consideració important, ja que la gran majoria de tècniques evolucionades treballen en forns de cup alt. En canvi, té de comú, amb la gran majoria de mètodes, el fet que s'eliminen les escòries, ja que tan sols en els procediments més primitius aquestes es retiren barrejades amb el ferro en acabar l'operació.

Un tercer aspecte característic de la farga catalana és el fet que el corrent d'aire en el forn era produït per efecte Venturi mitjançant una trompa d'aigua. És cert que aquesta característica és l'última que apareix, ja que data del final del segle XVI o principi del segle XVII, però aquest mitjà permetia de treballar amb un forn de cup baix, sense pèrdues en el rendiment ni en les propietats del metall obtingut. Això era degut al fet que les temperatures assolides eren suficientment altes, sense necessitat d'aconseguir el fort corrent d'aire per l'efecte xemeneia que es produïa en el forn de cup alt, que era la característica dels mètodes pre-industrials més evolucionats.

Però les característiques més peculiars de la farga catalana, són, per un costat, la curiosa disposició que la mena i el carbó adopten dins el forn. Té caràcter propi la separació en sentit vertical de dues zones: l'una, de la mena, amb el mineral format per trossos d'una mida relativament grossa; i l'altra, la del carbó i de la grillada, on s'utilitza pols de mineral i mineral

en trossos molt petits. L'altra característica és la composició i les propietats de les menes utilitzades, que ja hem definit en el capítol corresponent.

El material obtingut es classifica, segons les seves característiques, en ferro dolç, ferro fort i ferro "cedat". El ferro fort i el ferro "cedat" són metalls amb un contingut de carboni força important i per tant amb unes propietats que corresponen a les de l'acer.

Els autors del segle passat (François, Richard) suposaven que per aconseguir un ferro fort s'havia d'utilitzar més carbó, allargar la duració del procés, vigilar la inclinació de la tovera i utilitzar menes que tinguessin manganès.

Reproduïm, parcialment, el text de T. Richard:

1. "És necessari allargar el temps d'estada del mineral en el costat de la cara de l'ore a fi que el ferro d'aquest mineral tingui temps de carregar-se de carboni tant com pugui, abans de posar-lo davant la tovera. Com més carburat sigui el mineral, més fusible s'haurà tornat, de manera que el temps que s'ha cregut perdre al principi de l'operació, es retroba a la fi d'aquesta.

Car la massa ja formada, en estar menys temps protegida per les escòries, si es deixa la seva superfície molt de temps al descobert, el vent de la tovera l'oxidarà o la descarburarà completament, i es tindrà ferro dolç i no acer. És per evitar aquesta pèrdua i descarburació completa que es deixa que el mineral se sobrecaruri a l'ore, fent-lo al mateix temps més fusible, i després es porta cap a la tovera per determinar la seva fusió i perquè es desprengui de les terres. Però, operant aquesta fusió en el foc de reducció i carburació..."

2. "... les variacions del manganès en els minerals són la mesura de les del producte dels massers en ferro dolç o en ferro fort."

"Sembla establert d'una manera incontestable que és, sobretot, la presència de manganès la que facilita la carburació del ferro."

"M. François, a la farga d'Ordeig, ha tractat minerals de ferro oxidulat provinents de la vall de Querol, compactes i refractaris. Tan sols han rendit poc més del 25%. Ajuntant a la càrrega ordinària disminuïda en 20 kg el mateix pes en fundent manganífer, el producte ha passat del 33%; però, a més, la meitat de l'excedent del producte ha estat en ferro fort, i hi ha hagut menys consum de carbó. Semblants assaigs fets amb mineral de Rancie han donat resultats encara més bons."

Percy dóna les dades d'aquests altres assaigs de François:

“Fent una barreja de 425 kg de bona hematites bruna, contenint 44% de Fe, i de 33 kg de fundent manganífer, s'obtenen 163 kg de ferro forjat, amb un consum de 301 kg de carbó per 100 kg de ferro forjat.”

La composició del fundent manganífer és:

Fe ₂ O ₃	9,60%
Mn ₃ O ₄	62,60%
CaO	3,40%
MgO	traces
Argila	7,00%
Pèrdues al foc	17,60%
	100,20%

I, les anàlisis del ferro metàl·lic i les escòries, donen:

<i>Ferro metàl·lic</i>		<i>Escòries</i>	
Fe metàl·lic	99,63%	Sílice	33,00%
Manganès	0,12%	Protòxid de ferro	28,10%
Silici	traces	Protòxid de manganès	18,70%
Escòries	1,10%	Calç	—
	100,85%	Alúmina + Magnèsia	20,60%
			100,40%

Algunes d'aquestes consideracions han estat acceptades pels autors actuals, com és el fet que si s'augmenta la relació carbó/mineral, augmenta la possibilitat que el ferro es carburi i es produeixi la cementita, però altres d'aquestes afirmacions o no es tenen en compte o no són explicades.

El vent a la sortida de la tovera s'escalfa més i més, a mesura que s'allunya d'aquesta i s'apropa al peu de l'ore, i els gasos reductors i carburants que es formen entre l'extrem de la tovera i el peu de la càrrega remonten a través dels intersticis dels fragments del mineral, de baix a dalt de l'ore. Per afavorir aquesta circulació dels gasos, es cobria amb una capa de cendra humida el talús intern del munt de mineral.

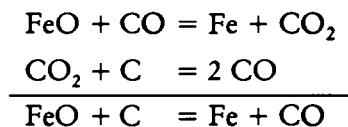
Al *Llibre de la Farga* són explicats els fonaments del procés de reducció a què se sotmetia la mena, i crec que no cal repetir-ho aquí. Només remarcarem que, a causa de l'original manera de carregar el forn, es produï-

xen dos tipus de reaccions simultànies a diferents velocitats. A la part dreta, el mineral sotmès a l'acció del gas carbonós va reduint-se lentament, passant per tots els estadis de l'òxid, mentre, alhora, el munt de la mena va baixant en el forn i assolint temperatures cada cop més altes. Les successives reaccions de reducció transcorren a qualsevol temperatura superior a 560° C, temperatura que correspon a la de la descomposició de la wüstita. Les successives reaccions de reducció dels òxids de ferro poden ésser descrites mitjançant el diagrama d'energies lliures estàndards de formació dels òxids.

Simultàniament al procés descrit de reducció de la mena, a la part esquerra del forn es produeix la reducció de la grillada, però aquí, on la col·locació ha estat feta en llits successius de mineral triturar en trossos molt petits i carbó, no pot considerar-se solament la presència del carboni en fase gasosa, com en la reducció de la mena. Ara, com en l'alt forn, hi ha la presència del carboni en excés. Considerant que el procés es desenvolupa en les condicions d'equilibri, la reducció és aparentment possible en camp de temperatura suficientment alta.

Les reaccions de reducció dels òxids en presència de carboni, segons que tinguin lloc a alta temperatura o a baixa, ocorren segons diferents mecanismes i porten a diferents resultats des del punt de vista energètic. S'entén per alta o baixa, una temperatura superior o inferior a 800-900°C. A temperatura baixa s'és al camp d'estabilitat del CO₂; per tant, quan es forma aquest gas, en el curs de la reducció, no és reduït pel carbó present i no es transforma en CO, i el percentatge de CO₂ creix. En aquestes condicions, les reaccions de reducció es produeixen tan sols per l'acció de la fase gasosa, sense intervenir-hi el carbó sòlid present. Són els anomenats processos de "reducció indirecta", que són exotèrmics.

Si el procés té lloc a temperatura més elevada, en el camp d'estabilitat del CO, el CO₂ que es forma en la reducció del mineral és, alhora, reduït pel carboni present, de manera que el procés té lloc com a resultat de les dues equacions:



Les reduccions d'aquest tipus són endotèrmiques.

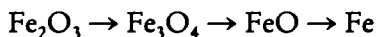
El carbó sòlid pot actuar directament com a reductor dels òxids de ferro, però el mecanisme de reducció a l'estat sòlid sembla molt lent i poc probable. En canvi, a través de la fase gas, és molt efectiu.

És important d'establir les condicions d'equilibri per les reaccions de reducció dels òxids, però la velocitat d'apropament a l'equilibri és un factor molt important i, en la realitat, el factor limitatiu del procés. En general, la velocitat de reacció augmenta en augmentar la temperatura. Disminueix a mesura que progressa la reducció, i l'eliminació de les últimes traces d'oxigen es fa molt difícil, per bé que termodinàmicament sigui possible. En aquest aspecte, si el procés es desenvolupa a l'estat líquid, presenta avantatges respecte al procés en estat sòlid.

En el cas de la reducció a l'estat sòlid, es verifica un augment de la porositat en les capes reduïdes, que facilita la difusió de la fase gas reductor vers la superfície de reacció de la fase sòlida i la migració iònica a l'estat sòlid.

La reacció de reducció mitjançant CO es produeix al contacte de la fase sòlida amb el gas actiu. Realitzada la reacció, el gas es torna químicament inactiu, el procés es para fins que nou gas reductor passa a través dels porus de l'òxid i es difon en la capa de gas inert. Mentre el procés de difusió en fase gas és suficientment ràpid, la penetració a través dels porus del cos sòlid constitueix el veritable factor limitatiu del procés de difusió.

La reducció segueix el següent camí esquemàtic:



En el mecanisme de reducció, segons la teoria de Wagner, els òxids superiors, hematites i magnetita, es redueixen a wüstita, no directament de la fase gasosa: es verifica una difusió d'ions ferro vers l'interior, és a dir, de la zona empobrida en oxigen vers aquella que n'és més rica. Aquesta difusió és activada per la sobresaturació local en ferro.

Juntament amb el procés de reducció, participen més tard tres mecanismes elementals:

- 1r. La reacció heterogènia gas-sòlid a la interfase Fe-FeO.
- 2n. La difusió del gas reductor a través dels porus de l'òxid que determina el transport de l'oxigen de la interfase de reacció gas-sòlid a la mateixa fase gas.
- 3r. La difusió a l'estat sòlid d'ions Fe^{++} de les capes externes vers les internes, amb contínua disminució del contingut en oxigen i reducció dels òxids, sense, no obstant això, emportar-se directament oxigen.

L'òxid, en el curs de la reducció, pot ésser considerat des del punt de vista cinètic, com un sistema bifase ferro-wüstita. Sobre la velocitat de reducció influeix principalment la difusivitat i la circulació del gas entre les porositats i microporositats de l'òxid a través de la xarxa de fissuracions presents o que es van formant. D'aquí la gran importància que té la torrefacció prèvia del mineral, i la baixada lenta d'aquest en el forn, que li dona temps, abans d'estar completament reduït, de trencar-se, fissurar-se, esquerdar-se, permeten la lliure circulació del gas dins els fragments del mineral.

Juntament amb aquests principals mecanismes, determinants de la velocitat del procés, intervenen altres fenòmens col·laterals que afecten el funcionament de les reaccions: acció catalítica i resistència química a la reacció heterogènia, fregament de la fase gas en difondre's en els porus, formació de pel·lícula de gas estacionari; tots ells actuen sobre el resultat del rendiment del procés.

En la fase gas, es demostra que una petita quantitat de CO_2 ja alenteix sensiblement la velocitat de reacció. En particular aquesta acció alentidora provocada pel CO_2 es fa particularment sensible en el pas FeO-Fe en fase heterogènia, o sigui, en l'últim estadi del procés de reducció, que és determinant. Per a poder conduir bé el procés de reducció, cal operar amb gran excés de reductor i limitada utilització del seu potencial termoquímic. Això, però, és el que ocorria sempre en la farga catalana; recordem que en les explicacions del procés fetes per Richard (capítol III) ens diu que el foc sempre crema amb flama blava de CO i també ens conta que, per l'excés de carbó amb què es treballava, en els sostres de les fargues es feien estalactites de carbó degudes als fums rics en aquest element.

Dels tres factors: pressió, conducció i velocitat del gas, la conducció en pes és el factor determinant de la velocitat del procés. La velocitat lineal i la pressió del gas tenen una influència secundària dins el camp dels valors normals de treball. La velocitat del gas presenta un valor crític, per sota del qual la velocitat de reducció augmenta d'acord amb l'augment de la velocitat del gas. Però, per damunt d'aquesta velocitat crítica (~ 3 o 4 cm/s), la velocitat de reducció queda quasi invariable i és independent de la velocitat del gas.

També és diferent el comportament dels diversos tipus de mineral en la cinètica del procés. Si el mineral està ben oxidat a hematites, és més fàcil el primer pas de reducció a magnetita, ja que aquest és exotèrmic, i, per tant, ajuda a augmentar la temperatura del forn. Si el mineral és magnetita, la seva reducció a wüstita és endotèrmica i obstaculitza l'augment de temperatura del mineral a l'inici del procés de reducció.

La millor reductibilitat de l'hematites també va lligada a la seva porositat respecte a la magnetita.

La composició de la ganga, també té molta influència. Els òxids bàsics afavoreixen la reducció, mentre els àcids l'obstaculitzen o alenteixen, ja que porten a la formació, a temperatures relativament baixes, d'escòries del tipus faialita de poca porositat. La presència en el mineral d'hidrats i carbonats purs retarda també la reducció, a causa de la calor necessària per al procés de descarbonatació i deshidratació, que retarda l'escalfament del mineral.

Ja hem vist quin era el tipus de mena del Pirineu català, fonamentalment hematites i limonita amb una bona porositat.

En el forn de la farga existeixen dues zones diferentment carregades, l'una amb mineral trossejat i l'altra amb grillada; la diferència de dimensions entre els fragments de la mena i els de la grillada té una influència molt sensible en el transcurs de la reducció. En general, la mida més petita permet d'aconseguir, en igualtat d'altres condicions, graus de reducció més grans. Però, com que la mena es col·loca tota en el gresol al principi de l'operació, i la grillada i el carbó es van afegint a mesura que baixen en el forn, encara que les petites dimensions d'aquesta n'afavoreixen la reducció, el seu temps d'estada en el forn és molt més curt, perquè ràpidament reacciona part del mineral amb la ganga per a formar les escòries, que fosses, s'escolen del forn. Amb tot, no és fins passades dues hores de l'inici del procés que es fa la primera sortida d'escòries, i en aquest temps el mineral reduït que ha baixat al fons del gresol ha format ja l'inici del masser. La diversitat de mides entre les partícules que formen la grillada fa que, tanmateix, unes arribin, després d'una total reducció, a carburar-se, mentre d'altres, a causa de la velocitat de baixada, arribin a la zona baixa del forn sense reduir-se totalment, i aquí, sota el vent oxidant de la tovera, ja no és possible que acabin de reduir-se. En aquestes condicions, els silicats formats amb la ganga tenen un excés de FeO .

De les dades obtingudes de les tres fases presents en les escòries i en les inclusions del masser, amb l'analitzador d'imatge, podem intentar de fer una estimació de la temperatura a què aquestes han començat a solidificar-se.

Escòries:

E-3:

Wüstita:	29,241%
Knebelita:	54,104%
Silicat vitri:	15,124%
	98,469%

E-4:

Wüstita:	18,069%
Knebelita:	55,854%
Silicat vitri:	10,448%
	84,371%

E-5:

Wüstita:	12,801%
Knebelita:	63,776%
Silicat vitri:	15,960%
	92,537%

Inclusions en el masser:

M-3:

Wüstita:	19,206%
Knebelita:	69,820%
Silicat vitri:	3,474%
	92,500%

M-5:

Wüstita:	27,041%
Knebelita:	69,191%
Silicat vitri:	0,674%
	96,906%

M-7:

Wüstita:	34,982%
Knebelita:	59,668%
Silicat vitri:	0,840%
	95,490%

Situem ara, en el diagrama trifàsic, representat a la fig. VII-1, els resultats dels percentatges de les tres fases -wüstita, knebelita (silicat gris clar)

i vítria (silicat gris fosc)–, trobats en les escòries i en les inclusions del masser; ara bé, en ésser la fase vítria (formada per un aluminosilicat d'alcalins i alcalins-terris) en poca proporció, els resultats obtinguts els podem situar, en una primera aproximació, en el diagrama bifàsic $(\text{Fe Mn})_2(\text{SiO}_4) - (\text{Fe Mn})\text{O}$.

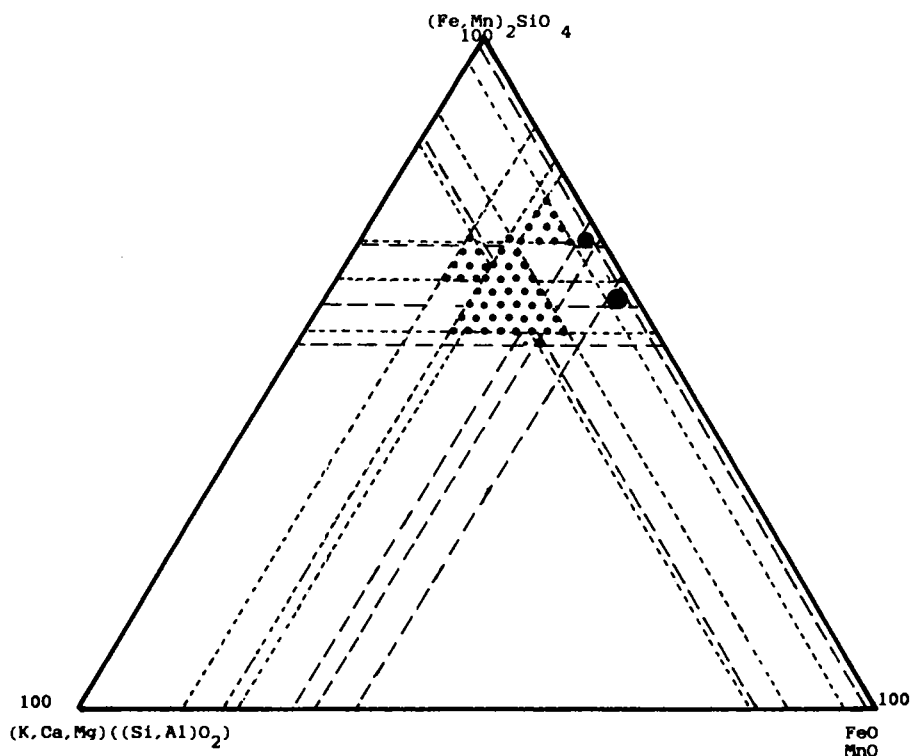


Fig. VII-1.

També, si tenim en compte que els diagrames FeO-SiO_2 i MnO-SiO_2 (fig. VII-2 i VII-3) són molt semblants ja que l'eutèctic es troba (per a l'un i l'altre) a 30% de SiO_2 i 70% de FeO o MnO , la temperatura de fusió de la faialita és a 1490°K i la de la tefroïta a 1620°K , i com que la quantitat de manganès que intervé sempre en el procés de la farga és petita respecte a la de ferro, usarem el diagrama FeO-SiO_2 , conscients que fem una nova aproximació que crearà noves inexactituds en els resultats.

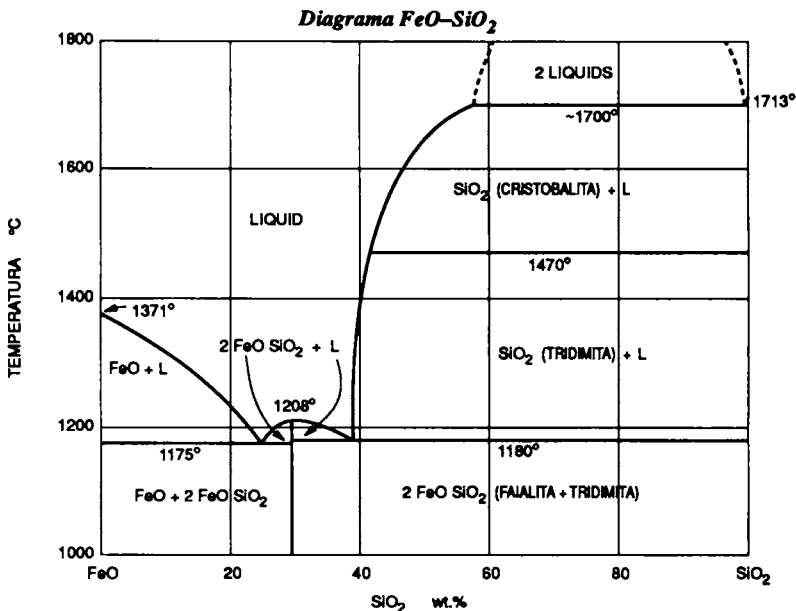


Fig. VII-2.

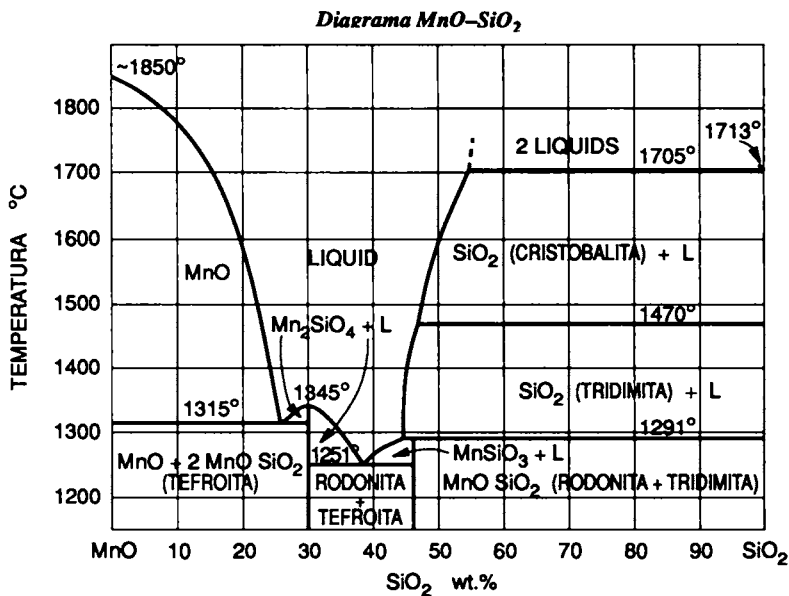


Fig. VII-3.

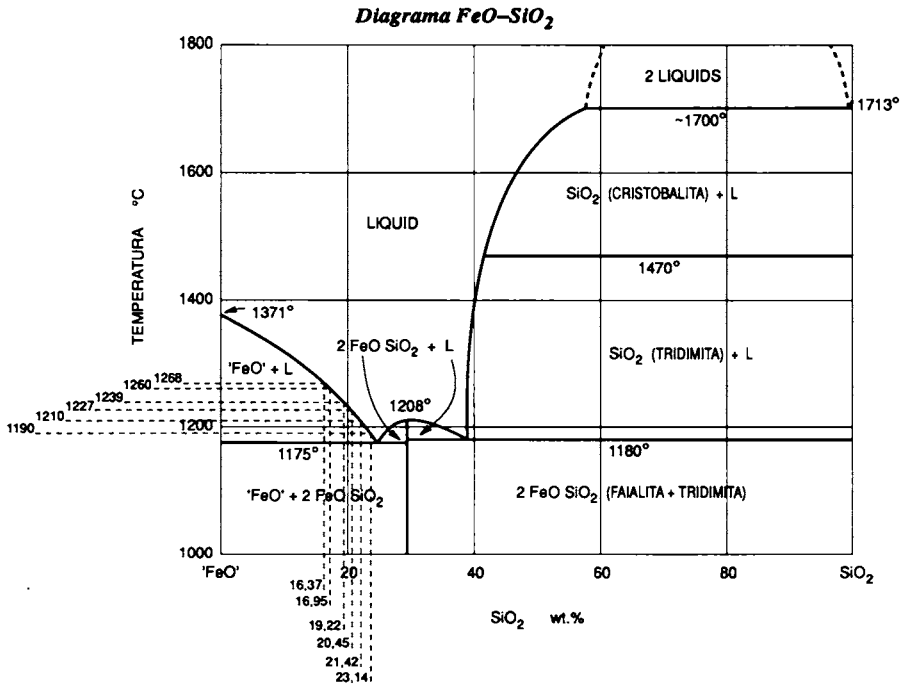


Fig. VII-2.

Sobre el diagrama FeO-SiO₂ podem situar el punt corresponent al percentatge en pes de SiO₂ estimat a partir de les anàlisis efectuades i deduirem la temperatura a què ha començat a solidificar-se l'escòria.

Com que l'observació al microscopi ens ha mostrat la wüstita idiomòrfica en forma dendrítica, indicant-nos, això, que prèviament ha estat fosa, deduïm que, de les tres fases, aquesta ha estat la primera a solidificar-se, posteriorment ho ha fet la knebelita i finalment el remanent intersticial que és format pel silicat vitri. Un cop coneguda la temperatura de solidificació de la wüstita, sabrem que, en un lloc del gresol de la farga (presumiblement a la zona baixa del forn), la temperatura de reducció ha estat superior a la que havíem deduït del diagrama FeO-SiO₂.

A continuació presentem els càlculs que ens han permès de saber el percentatge de SiO₂ a partir dels resultats de les anàlisis d'imatge.

Escòria E-3:

Percentatges de les àrees:

$$\text{Wüstita} = 29,24\%$$

$$\text{Knebelita} = 54,10\%$$

Hem fet les lectures sobre àrees i hem de considerar els valors en volum, per tant, de 100 cm³, en tenim 29,24 de wüstita i 54,10 de knebelita, i com que en el diagrama tenim els valors en pes, multiplicarem per la densitat ρ que és 6 per a la wüstita i 4,39 per a la faialita (la de la tefroïta és 4,12).

$$29,24 \times 6 = 175,44 \text{ g de wüstita}$$

$$54,10 \times 4,39 = 237,50 \text{ g de faialita.}$$

$$\text{Pes total} = 412,94 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2: 237,50 \times \frac{\text{P.M. sílice}}{\text{P.M. faialita}} = 237,50 \times \frac{60,09}{203,78} = 70,03$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{70,03 \cdot 100}{412,94} = 16,95\%$$

A aquest valor de 16,95%, portat al diagrama FeO-SiO₂, li correspon una temperatura de 1.260° C.

Escòria E-4:

$$\text{Wüstita} = 18,07\%$$

$$\text{Knebelita} = 55,85\%$$

$$18,07 \times 6 = 108,42 \text{ g de wüstita}$$

$$55,85 \times 4,39 = 245,18 \text{ g de faialita}$$

$$\text{Pes total} = 353,6 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2 = 245,18 \times \frac{60,09}{203,78} = 72,30 \text{ g}$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{72,30 \cdot 100}{353,6} = 20,45\%$$

A aquest valor, 20,45%, portat al diagrama FeO-SiO₂, li correspon una temperatura de 1.227° C.

Escòria E-5:

$$\begin{aligned}\text{Wüstita} &= 12,80\% \\ \text{Knebelita} &= 63,77\%\end{aligned}$$

$$12,80 \times 6 = 76,80 \text{ g de wüstita}$$

$$63,77 \times 4,39 = 279,95 \text{ g de faialita}$$

$$\text{Pes total} = 356,75 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2 = 279,95 \times \frac{60,09}{203,78} = 82,55 \text{ g}$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{82,55 \cdot 100}{356,75} = 23,14\%$$

A aquest valor, 23,14%, portat al diagrama FeO-SiO₂, li correspon una temperatura de 1.190° C.

Masser:

Mostra M-3 (cara horitzontal):

$$\begin{aligned}\text{Wüstita} &= 19,21\% \\ \text{Knebelita} &= 69,82\%\end{aligned}$$

$$19,21 \times 6 = 115,26 \text{ g de wüstita}$$

$$69,82 \times 4,39 = 306,51 \text{ g de faialita}$$

$$\text{Pes total} = 421,77 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2 = 306,51 \times \frac{60,06}{203,78} = 90,38 \text{ g}$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{90,38 \cdot 100}{421,77} = 21,42\%$$

A aquest valor, 21,42%, portat al diagrama FeO-SiO_2 , li correspon una temperatura de 1.210° C.

Mostra M-5 (cara horitzontal):

$$\begin{aligned} \text{Wüstita} &= 27,04\% \\ \text{Knebelita} &= 69,19\% \end{aligned}$$

$$27,04 \times 6 = 162,24 \text{ g de wüstita}$$

$$69,19 \times 4,39 = 303,74 \text{ g de faialita}$$

$$\text{Pes total} = 465,98 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2 = 303,74 \times \frac{60,06}{203,78} = 89,57 \text{ g}$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{89,57 \cdot 100}{465,98} = 19,22\%$$

A aquest valor, 19,22%, portat al diagrama FeO-SiO_2 , li correspon una temperatura de 1.239° C.

Mostra M-7 (cara horitzontal):

$$\begin{aligned} \text{Wüstita} &= 34,98\% \\ \text{Knebelita} &= 59,67\% \end{aligned}$$

$$34,98 \times 6 = 209,88 \text{ g de wüstita}$$

$$59,67 \times 4,39 = 261,95 \text{ g de faialita}$$

$$\text{Pes total} = 471,83 \text{ g.}$$

$$\text{Pes de SiO}_2 = 261,95 \times \frac{60,06}{203,78} = 77,24 \text{ g}$$

$$\text{Percentatge en pes de SiO}_2: \frac{77,24 \cdot 100}{471,83} = 16,37\%$$

A aquest valor, 16,37%, portat al diagrama FeO-SiO₂, li correspon una temperatura de 1.268° C.

Pels resultats obtinguts, tant en les escòries com en les inclusions del masser, podem concloure que el forn de la farga arribava a assolir temperatures compreses entre 1.200 i 1.250° C, i per tant podem considerar, quan sigui necessari, que les reccions que tenien lloc entre els seus elements es produïen a aquestes temperatures.

* * *

L'estudi realitzat permet d'establir les dades següents: En el metall elaborat s'han observat les fases: ferrita, perlita i inclusions silicatades formades per knebelita (silicat de composició entre la faialita i la tefroïta) i wüstita.

En el masser s'observen: ferrita, cementita, bé aïllada o formant perlita, wüstita, knebelita i una fase alumino-silicatada vítria en poquíssima quantitat. En el masser estudiat, les proporcions de les diferents fases varien segons la regió que estudiem.

A les escòries s'observen el silicat knebelita, l'òxid wüstita, la fase vítria alumino-silicatada i petites inclusions de fase metàl·lica. S'observa que part de la wüstita forma dendrites dins la knebelita o dins la fase vítria. En aquesta, són més petites que les que hi ha a la fase de composició (Fe, Mn)₂SiO₄.

Per tant, en el sistema es pot considerar l'existència de cinc fases diferents que són:

Fase metàl·lica, formada fonamentalment per ferro, si bé en certes zones locals pot presentar petites quantitats de manganès. Per les seves característiques, correspon a la ferrita.

Fase carburada, formada per ferro i carboni. Apareix formant segregacions dins el metall, situades a les juntes de gra de la ferrita o bé formant làmines intercalades amb aquesta (perlita).

Fase oxidada, formada per ferro, manganès i oxigen. La seva composició és intermèdia entre la wüstita (FeO) i la manganesita (MnO) però predominant-hi la primera. Per tant, hi usem el nom de wüstita.

Fase silicatada, formada per ferro, manganès, oxigen i silici. La seva estructura correspon al tipus oliví i la composició és intermedia entre la faialita (Fe_2SiO_4) i la tefroïta (Mn_2SiO_4) i per tant, podem utilitzar el nom de knebelita.

Fase vítria formada per silici, oxigen, alumini, calci, potassi, magnesi i que pot contenir petites quantitats de ferro i manganès. És fonamentalment un vidre, ja que no dóna resposta a la difracció de raigs X. De vegades, es pot veure que el material és heterogeni. En aquesta fase s'incorporen tots els elements que no intervenen directament en el procés.

Per tant, són les quatre primeres fases les que s'han de considerar per a explicar tot el procés de la farga catalana.

En les nostres anàlisis de les fases metàl·lica, oxidada i silicatada, sempre hem trobat en menor o major quantitat la presència de l'element manganès, element que, com ja hem dit, és essencial, segons els estudiosos de la farga, per a obtenir un bon rendiment i ferro fort.

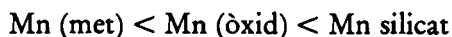
Les nostres anàlisis, normalment, només s'han fet amb dispersió de raigs X per a obtenir els valors de les intensitats $\kappa\alpha$ dels elements constituents.

Aquestes intensitats no són comparables entre un element i un altre, excepte quan llurs pesos atòmics són aproximadament iguals, com és el cas del Fe (55,9) i del Mn (54,9), però sí que són comparables els valors de les intensitats d'un mateix element en les diferents fases en què apareix.

El diagrama Fe-C ens mostra que en el marge de temperatures trobades 1.200-1.250° C, que confirmen les donades per François (Cap. III), la fase metàl·lica és austenita sòlida o austenita més líquid, segons el grau de carboni dissolt. Per tant, a aquestes temperatures sempre tenim una barreja de metall sòlid (majoritària en el costat de la mena i minoritària en el costat de la grillada) i les següents fases, sòlides o líquides: carburada, metàl·lica, oxidada i silicatada, que podríem escriure així:

Carburada	Fe C
Metàl·lica	Fe Mn
Oxidada	Fe Mn O
Silicatada	Fe Mn O Si
Vítria	conjunt dels elements que no hi intervenen.

En aquestes el manganès compleix



Anem a veure si, amb les anàlisis fetes a les diferents mostres, podem establir la relació de participació del manganès en cada fase.

Recopilem primer tots els resultats dels valors obtinguts per al manganès i per al ferro en aquestes tres fases, en la taula VII.

Taula VII-a.

	Mn metàl·lic	Mn wüstita	Mn knebelita	Fe metàl·lic	Fe wüstita	Fe knebelita
<i>Mostres metàl·liques:</i>						
M-3		0,3	0,7		9,0	5,5
		0,2	0,4		5,8	3,8
		0,2	0,45		6,0	3,5
		0,25	0,5		5,3	4,3
		0,2	0,5		5,3	4,2
M-5		0,2	0,45		5,3	4,1
		0,15	0,3		4,5	3,0
		0,2	0,4		6,2	3,7
		0,2	0,3		6,0	3,3
		0,2	0,35		5,3	4,0
	0,038	0,632		24,981	22,486	
	0,027	0,530		24,870	22,799	
M-7		0,25	0,45		5,3	4,0
		0,2	0,45		4,6	3,3
		0,25	0,5		6,0	3,9
		0,2	0,4		4,9	3,7
		0,15	0,3		4,9	4,1
M-8		0,2	0,4		4,0	2,8
		0,2	0,3		3,6	3,0
		0,2	0,35		4,8	3,6
		0,4	0,6		8,0	7,0
		0,2	0,5		7,0	6,5
		0,15	0,3		4,4	3,5
Coberta C		0,4	0,7		9,0	5,5
Mostra rellotge:		0,2	0,3		5,0	3,0
		0,2	0,35		4,0	3,4
<i>Escòries:</i>						
E-3	0,106	0,616		26,464	24,373	
	0,030	0,565		25,775	21,032	
E-5	0,031	0,454		24,539	22,737	
	0,043	0,604		24,997	26,002	
	0,015	0,567	0,737	25,816	23,319	9,336
E-6		0,3	0,5	8,0	5,75	3,5
		0,25	0,45	5,8	5,1	3,1
		0,25	0,4	5,0	4,8	3,2
		0,3	0,4	8,1	5,7	3,2
		0,35	0,55	7,7	5,3	4,0
		0,25	0,4	5,6	4,9	3,4

Taula VII-a.

	Mn metàl·lic	Mn wüstita	Mn knebelita	Fe metàl·lic	Fe wüstita	Fe knebelita
E-7	0,024	0,607		142,895	33,609	
	0,070	0,604		150,868	30,271	
	0,073	0,695		148,194	33,713	
	0,044	0,700		142,397	33,045	
	0,051	0,970		136,682	32,108	
	0,075	0,700		131,914	32,693	
	0,040	0,848		131,282	32,764	
	0,035	0,777		127,799	32,555	
	0,031	0,680		129,600	32,118	

Les considerables diferències que mostren els valors numèrics de les intensitats $K\alpha$ dels elements analitzats, són degudes al fet que s'han variat les escales de lectura, entre una mostra i una altra.

Amb les dades de la taula VII, s'han calculat les relacions: entre el manganès en la fase metàl·lica i en la fase oxidada (wüstita), entre el manganès en la fase oxidada (wüstita) i en la fase silicatada (knebelita), entre el ferro i el manganès metàl·lics, i entre el manganès i el ferro en la fase oxidada (wüstita):

Taula VII-b.

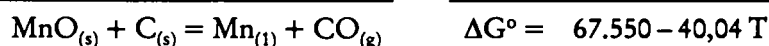
	$\frac{\text{Mn metàl·lic}}{\text{Mn wüstita}}$	$\frac{\text{Mn wüstita}}{\text{M knebelita}}$	$\frac{\text{Fe metàl·lic}}{\text{Mn metàl·lic}}$	$\frac{\text{Mn wüstita}}{\text{Fe wüstita}}$
<i>Mostres metàl·liques:</i>				
M-3		0,428		0,033
		0,5		0,035
		0,444		0,033
		0,5		0,047
		0,4		0,038
M-5		0,444		0,038
		0,5		0,033
		0,5		0,032
		0,666		0,033
		0,571		0,038
	0,060		657,39	0,028
	0,051		921,11	0,024
M-7		0,555		0,047
		0,444		0,043
		0,5		0,042
		0,5		0,041
		0,5		0,031

Taula VII-b.

	Mn metàl·lic Mn wüstita	Mn wüstita M knebelita	Fe metàl·lic Mn metàl·lic	Mn wüstita Fe wüstita
M-8		0,5 0,666 0,571 0,666 0,4 0,5		0,05 0,056 0,042 0,05 0,029 0,034
Coberta C		0,571		0,044
Mostra rellotge		0,666 0,571		0,04 0,05
<i>Escòries:</i>				
E-3	0,175 0,053		249,660 859,167	0,025 0,027
E-5	0,068 0,071 0,021	0,769	791,581 581,326 1.721,06	0,020 0,023 0,024 0,012
E-6		0,6 0,555 0,625 0,75 0,636 0,625		0,052 0,049 0,052 0,052 0,066 0,051
E-7	0,039 0,115 0,105 0,063 0,053 0,107 0,047 0,045 0,045		6.037,73 2.170,76 2.039,27 3.212,2 2.680,0 1.763,59 3.323,59 3.651,4 4.225,63	0,018 0,020 0,020 0,021 0,030 0,022 0,026 0,024 0,021

Anem a estudiar ara com afecta la presència del manganès en la reducció del mineral.

Recordem que els òxids superiors del manganès es redueixen tots a MnO per l'acció del CO, per sota els 600° C, però aquest MnO és més estable que l'òxid ferrós, com pot veure's confrontant els calors i energies lliures estàndards de formació, per a una temperatura donada. La reducció del MnO té lloc en el camp de les altes temperatures, és endotèrmica i només pot realitzar-se per mitjà del carboni o d'una atmosfera de CO pur. Podem esquematitzar així la reacció i les variacions d'energia lliure, segons la fórmula A + BT:



En les condicions d'equilibri tindrem $G^\circ = 0$, i podrem deduir la temperatura d'equilibri a partir de la qual serà possible la reducció del manganès:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ = 67.550 - 40,04 T = 0$$

i:

$$T = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = 1680^\circ \text{ K} = 1407^\circ \text{ C}$$

L'equilibri de la reducció també pot ésser calculat a partir del valor de l'energia lliure, considerant l'activitat dels reactants igual a la unitat per a una pressió $P_{\text{CO}} = 1 \text{ atm.}$, perquè:

$$G = -RT \ln \frac{a_{\text{Mn}} P_{\text{CO}}}{a_{\text{MnO}}}$$

Però hi ha molts factors que influeixen a fer abaixar la temperatura d'inici d'aquesta reacció:

1r. El manganès, vista la quantitat d'òxid de manganès que porten les menes estudiades, es troba en la fase metàl·lica com un solut en petita proporció, i això fa que la seva activitat prengui valors molt inferiors a la unitat, i consegüentment baixi la temperatura d'inici del procés.

2n. En presència de ferro, com és el nostre cas, la reducció d'òxid manganós pot iniciar-se a temperatura inferior en 200° C a l'obtinguda per a les condicions estàndard.

3r. També s'afavorix la reducció de l'òxid manganós quan les escòries són molt bàsiques. I ja sabem que no hi ha escòries més bàsiques que les

de la farga catalana, en què l'òxid de ferro fa el paper de base, i s'hi troba en excés.

Per tant, la reducció de l'òxid manganós pot iniciar-se a les temperatures que hem establert que es donaven en el forn de la farga catalana.

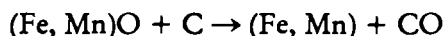
* * *

Primer hem parlat dels factors que influeixen en la reducció dels òxids de ferro pel C o el CO. El valor de la variació de l'energia lliure de la reacció indica la possibilitat que la reducció de l'òxid es produeixi a una temperatura determinada, però la reducció només serà efectiva quan la velocitat de reacció sigui apreciable i aquesta reacció, presa com a principal, no sigui contrariada per les reaccions secundàries.

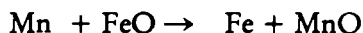
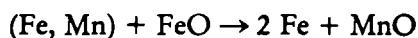
A les temperatures a què s'arriba a la farga, la velocitat de reacció serà lenta i la reducció total de la wüstita relativament difícil.

D'altra banda, el fet de trobar-se la wüstita immersida en els silicats fosos, dificulta encara més la reacció.

Ara bé, les anàlisis ens han demostrat que la wüstita es troba en solució amb l'òxid manganós formant (Fe, Mn)O. És a dir, en la xarxa de FeO hi ha cations substitucionals de Mn^{++} (minoritaris) que donen inestabilitat a aquesta xarxa i faciliten la reducció:



que, com ja hem dit, en trobar-se la wüstita dins la fosa de silicats, seria més difícil de reduir. A continuació, el manganès metàl·lic, en trobar-se en contacte amb altra wüstita, donarà:



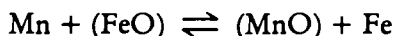
i aquest MnO anirà a incorporar-se a l'escòria, desplaçant-ne ferro:



La presència del manganès facilita per tant la reducció del ferro.

* * *

El repartiment del manganès entre el metall i l'escòria depèn de la reacció



Les solucions Fe-Mn i llurs òxids són virtualment ideals a totes les concentracions, en els estats sòlid i líquid. Això és així perquè tots dos elements tenen similar radi atòmic i poden substituir-se l'un per l'altre en solució sense destorbar els àtoms adjacents.

Per tant, la constant d'equilibri es pot obtenir, en primera aproximació, mitjançant les concentracions dels reactants:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{(\text{Mn O})}{(\text{FeO}) \cdot \text{Mn}}$$

Per a la constant K_{Mn} s'han proposat diferents equacions que la donen en funció de la temperatura:

$$\lg K_{\text{Mn}} = \frac{6234}{T} - 1,0263 \quad \text{Korber i Oelsen}$$

$$\lg K_{\text{Mn}} = \frac{6440}{T} - 2,95 \quad \text{Chipman i Gero}$$

$$\lg K_{\text{Mn}} = \frac{6760}{T} - 3,09 \quad \text{Iònica}$$

La constant d'equilibri depèn no tan sols de la temperatura, sinó també de la composició de l'escòria, en particular de la seva basicitat, per la influència que aquesta té sobre els dos òxids metàl·lis FeO i MnO, especialment en el camp de les baixes basicitats. La constant de la reacció vindrà més rigorosament expressada usant l'activitat o el coeficient d'activitat dels òxids reaccionants, mentre que l'activitat del Mn en solució en el metall pot ésser substituïda per la seva concentració en pes:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{a(\text{MnO})}{a(\text{FeO}) \% \text{ Mn}} \quad \text{essent} \quad \begin{aligned} a(\text{FeO}) &= f_{\text{FeO}} N_{\text{FeO}} \\ a(\text{MnO}) &= f_{\text{MnO}} N_{\text{MnO}} \end{aligned}$$

f = coeficient d'activitat.

N = fracció molar.

El repartiment del manganès entre escòria i metall serà, doncs:

$$\frac{\% \text{ Mn}}{N_{\text{MnO}}} = \frac{1}{K_{\text{Mn}}} \frac{f_{\text{MnO}}}{f_{\text{FeO}}} \frac{1}{N_{\text{FeO}}}$$

Els factors que regulen la recuperació de manganès en la fase metall i influeixen en la relació de repartiment, actuen així:

1. En augmentar la temperatura, disminueix K_{Mn} , amb augment de la relació i consegüent pas del manganès de l'escòria al metall.
2. En el camp de l'escòria bàsica, els coeficients d'activitat són tots dos majors que la unitat, i la relació $f_{\text{MnO}}/f_{\text{FeO}}$ es manté per damunt de la unitat i creix la basicitat de l'escòria a causa del comportament especialment bàsic de MnO respecte a FeO. En créixer la basicitat, en igualtat d'altres condicions, generalment la relació de repartiment del manganès resulta encara creixent.
3. En créixer l'òxid de ferro en l'escòria, o sigui per a condicions més oxidants, la relació de repartiment disminueix, mentre que el manganès s'oxida en quantitat creixent i passa del metall a l'escòria.

Posteriorment experiments fets amb diferents composicions d'escòries van demostrar que:

La constant d'equilibri depèn del contingut d'ions oxigen i calci que té l'escòria. La dependència del contingut d'ions oxigen és deguda a variacions en el coeficient d'activitat dels ions ferrosos; per tant, el coeficient d'activitat dels ions Mn^{++} és solament una funció del contingut en calci de l'escòria, i es demostra experimentalment que a constant basicitat i a constant contingut de Fe^{++} , en augmentar el contingut d'ions calci, més manganès serà reduït de l'escòria.

Entre els marges de temperatura considerats en la majoria d'estudis realitzats, $1.500^{\circ}\text{C} - 1.700^{\circ}\text{C}$, la temperatura no té influència en l'activitat de l'òxid de manganès en les escòries d'una composició donada.

Altres estudis han plantejat les variacions de l'activitat en funció de la composició de l'escòria. Un augment en la concentració de la sílice redueix l'activitat de l'òxid manganós més que la de l'òxid ferrós; això és atribuït principalment a la més gran estabilitat dels silicats de manganès en comparació amb els silicats de ferro.

La distribució de l'òxid ferrós entre el metall i l'escòria assoleix l'equilibri tan sols per a continguts de carboni molt baixos. Quan el contingut

de carboni és gran, el potencial d'oxigen de l'escòria és molt més alt que el corresponent a l'equilibri amb el carboni; el contingut d'oxigen del metall és aleshores intermedi entre el contingut en equilibri amb l'escòria i el contingut en equilibri amb el carboni. Això és atribuït a la lentitud de la reacció entre carboni i oxigen. L'equilibri respecte a l'oxigen, existeix solament a la intercara escòria-metall.

Com que MnO és un òxid bàsic, el seu coeficient d'activitat en una escòria àcida és baix (Mn reacciona amb SiO_2), i augmenta ràpidament quan augmenta la basicitat de l'escòria. Amb una escòria amb continguts principalment de CaO , Al_2O_3 i SiO_2 , és possible notar el paper amfòter de l'alúmina: Si Al_2O_3 és afegit a una escòria àcida SiO_2 - CaO - MnO , aquest òxid neutralitza part de la sílice, augmentant el coeficient d'activitat del MnO . Al contrari, en una escòria d'alta basicitat, l' Al_2O_3 reacciona amb CaO i el coeficient d'activitat del MnO decreix lleugerament.

Els compostos que no es formen amb una gran energia es comporten, en estat fos, com si estiguessin molt dissociats. Per a iguals valors de l'energia lliure de formació, les activitats dels constituents són tant més grans, és a dir, la dissociació tèrmica és tant més important, com més complexa és la combinació.

L'efecte de l'intersolubilitat dels òxids ferrós i manganós és el causant d'una desoxidació més eficaç (particularment per baixos continguts de manganès) que la que s'obtindria si el desoxidant fos únicament òxid manganós pur.

* * *

Tot el que acabem d'exposar, aplicat als resultats trobats en les nostres escòries i inclusions del metall, i a les dades històriques corresponents de la farga, ens permet d'arribar a les consideracions següents:

1r. El contingut de calci és prou baix, a excepció de les escòries de Berthier, per a no influir en el coeficient d'activitat dels ions Mn^{++} .

2n. En totes les escòries estudiades, el contingut de la sílice varia dintre uns marges molt petits.

3r. El fet que el potencial d'oxigen de l'escòria sigui molt més alt que el corresponent a l'equilibri, afavoreix el pas del manganès de l'escòria al metall.

4t. L'alúmina no apareix a les nostres escòries o, en tot cas, el seu con-

tingut és molt pobre i encara que, per ésser l'escòria bàsica, reaccionaria amb el calci, aquest ja hem dit que hi és en tan poca quantitat que no pot afectar l'activitat de l'òxid manganós.

* * *

Aplicant les relacions obtingudes amb les dades experimentals, consignades a la taula VII, al valor de la constant d'equilibri de la reacció $\text{Mn} + \text{FeO} \rightleftharpoons \text{MnO} + \text{Fe}$, tenim:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot (\text{MnO})}{\text{Mn} \cdot (\text{FeO})}$$

i prenent les mitjanes dels valors per a cada mostra, s'obté:

M-5:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot (\text{MnO})}{\text{Mn} \cdot (\text{FeO})} = 789,25 \times 0,26 = 20,67 \quad \lg K = 1,31$$

E-3:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot (\text{MnO})}{\text{Mn} \cdot (\text{FeO})} = 554,414 \times 0,026 = 14,47 \quad \lg K = 1,16$$

E-5:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot (\text{MnO})}{\text{Mn} \cdot (\text{FeO})} = 686,453 \times 0,022 = 14,83 \quad \lg K = 1,17$$

E-7:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot (\text{MnO})}{\text{Mn} \cdot (\text{FeO})} = 3.233,79 \times 0,022 = 72,43 \quad \lg K = 1,84$$

Per a calcular la temperatura a partir d'aquests valors de K_{Mn} haurem d'aplicar una de les equacions consignades abans. El fet que la formació dels silicats de les escòries (faialita i tefroïta) requereixi un baix consum

d'energia, demostra que podem considerar les escòries foses com a ionitzades. Per tant, hem escollit l'equació iònica de la constant d'equilibri com a més convenient:

$$\lg K = \frac{6.760}{T} - 3,09$$

i obtenim les temperatures d'equilibri de la reacció:

$$\text{M-5} \quad T = \frac{6.760}{4,4} = 1.536^\circ \text{ K} = 1.263^\circ \text{ C}$$

$$\text{E-3} \quad T = \frac{6.760}{4,25} = 1.590^\circ \text{ K} = 1.317^\circ \text{ C}$$

$$\text{E-5} \quad T = \frac{6.760}{4,26} = 1.587^\circ \text{ K} = 1.314^\circ \text{ C}$$

$$\text{E-7} \quad T = \frac{6.760}{4,93} = 1.373^\circ \text{ K} = 1.100^\circ \text{ C}$$

que donen una temperatura mitjana de 1.250° C .

Aquestes temperatures, dins marges raonables, estan d'acord amb les trobades en estimar-les partint de la composició de les escòries.

La temperatura mitjana de 1.250° C , veiem que és just per damunt de la temperatura de fusió del manganès, permetent la major difusivitat d'aquest element en el ferro metàl·lic.

El valor de la temperatura per a l'escòria E-7 discrepa una mica dels altres tres valors, però hem de tenir en compte que les dades han estat preses amb un aparell diferent.

* * *

El valor mitjà obtingut per a la relació MnO/FeO és 0,024, valor que coincideix amb la mitjana de les dades de tots els altres resultats de les anàlisis donades a les taules de Richard (que hem reproduït en el capítol V).

Aplicant aquest valor mitjà de MnO/FeO a les úniques dades històriques que tenim, l'anàlisi de François, s'obté:

$$K_{\text{Mn}} = \frac{\text{Fe} \cdot \text{MnO}}{\text{Mn FeO}} = \frac{100 \times 0,024}{0,12} = 20 \quad \lg K_{\text{Mn}} = 1,3$$

$$T = \frac{6.760}{4,39} = 1.540^\circ \text{ K} = 1.266^\circ \text{ C}$$

temperatura que coincideix pràcticament amb les obtingudes a partir de les nostres anàlisis.

* * *

Hem establert, doncs, que:

1r. Les màximes temperatures de treball estimades en el forn de la farga són de 1.300° C .

2n. La distribució del manganès entre les fases: –metàl·lica, oxidada, silicatada (knebelita)– és, en valor mitjà, la següent:

$$\frac{\text{Mn metàl·lica}}{\text{Mn wüstita}} = 0,073 \qquad \frac{\text{Mn wüstita}}{\text{Mn knebelita}} = 0,525$$

*I guaita bé, que poc camí ja ens cal
per ser a la veritat que amb fam esperes,
i a veure si tu sol passes el gual.*

Dante Alighieri, *Divina Comèdia*

CAPÍTOL VIII

CONCLUSIONS

La divisió del forn en dues parts; la més propera a la tovera, ocupada pel carbó i per la grillada, i la més llunyana, per la mena, creiem que tenia una finalitat:

En la zona de la grillada, que contenia mineral de gra fi (per tant, amb una gran superfície específica) i carbó que creava un medi molt reductor, tot el procés es realitzava més de pressa que en la zona de la mena, de mida més grossa i per la qual circulaven els gasos produïts per la combustió parcial del carbó.

La grillada tenia, possiblement, dues missions: el primer metall obtingut a partir d'ella creava l'inici del masser, que era el centre de confluència del metall produït a partir de la mena. Però, en el transcurs del procés, el metall i l'escòria produïts a partir de la grillada, en anar caient sobre el material que estava formant el masser, feia més fàcils els equilibris que han estat descrits en explicar tot el procés.

Les temperatures trobades en el forn de la farga permeten de determinar que el ferro produït a partir de la reducció del mineral es trobava en forma de ferro γ , que pot contenir carboni en solució sòlida. A mesura que el masser anava refredant-se, el ferro γ passava a ferro α i, com que aquest quasi no pot contenir carboni en solució, de la solució sòlida γ es començava a separar ferro pur (ferrita) i carbur de ferro (cementita), donant les estructures que hem trobat al microscopi: ferrita, cementita, perlita.

En haver-hi pas de manganès metàl·lic de l'escòria al metall, aquest preservava de la descarburació el carbur de ferro ja format. En efecte, com que el manganès és més àvid d'oxigen que el carboni, quan la massa de ferro es trobava sota el vent de la tovera, el manganès es convertia en òxid, i retornava a l'escòria i desplaçava de la faialita una certa quantitat de ferro, que passava a enriquir el masser, mentre l'òxid de manganès, unit a la síli-

ce, feia més estable el silicat (més bàsic), i, en ésser més estable l'escòria que banyava el masser, el preservava de l'oxidació.

Són veritat, doncs, les dues conseqüències que segons els estudiosos de la farga, es produïen quan el mineral portava manganès: major rendiment de ferro, i més quantitat de ferro acerós en el masser.

Queda molt per dir sobre la farga catalana. Per exemple, com explicar la influència que tenia el grau d'humitat de l'aire introduït per la trompa o, encara més, l'efecte dels successius cubells d'aigua tirats sobre el carbó i la grillada durant el procés, la qual cosa, probablement, a la temperatura del forn, produïa hidrogen lliure que afavoria la reducció del mineral.

Amb el nostre estudi, hem aportat una explicació del perquè els fargaires volien mineral ric en manganès, ja que aquest manganès ajudava a obtenir el ferro fort (o ferro bo), que era tan apreciat.

Parafrasejant el vell proverbi rus "El millor d'allò que és nou és el re-trobat, des de temps perdut en l'oblit", esperem poder tornar a conèixer, amb l'ajut de la ciència, tot el saber dels nostres avantpassats què, adquirit amb l'experiència, els donà una destresa avui encara no igualada.

BIBLIOGRAFIA

- APRAIZ, J. (1958). Tratamiento térmico de los aceros. Ed. Dossat.
- AYORA, C. (1980). Les concentracions metàl·liques de la Vall de Ribes. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- BARINAGA, L. (1879). Curso de metalurgia especial. Madrid.
- BERRY, L. (editor) (1967). Power Diffraction File. Minerals Philadelphia.
- CALVO, F. (1964). La España de los metales. Patronato Juan de la Cierva de investigación científica y técnica.
- CAMPREDON, L. (189). L'acier. París.
- CAREZ, L. (1906). La Géologie des Pyrénées Françaises, Fasc. IV, Memoires de la Carte Géologique de la France. París.
- CAREZ, L. (1908). La Géologie des Pyrénées Françaises. Mémoires de la Carte Géologique de la France, Fasc. V.
- CHEVALIER, M. (1925). Carte de la Vallée d Andorre.
- COUDURIER, L., HOPKINS, (1978). Fundamentals of metallurgical process. Pergamon Press.
- DAUMAS, M. (1962). Histoire générale des techniques. Presses Universitaires de France. París T.I.
- DURRER, R. (1956). Beneficio de los minerales de hierro. Barcelona.
- FLACHAT, E. (1842). Traité de la fabrication de la fonte et de fer. París.
- FORBES, J. R. (1950) Metallurgy in antiquity. Leiden. Netherlands-Brill. The early story of iron.
- FOURNIER, L. (1956). Sur l'origine exogène du gîte de manganèse de Las Cabes-ses (Ariège). Remarques sur les gisements pyrénéens. Bull. Soc. Géol. France, 6.
- FRANÇOIS, J. (1843). Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pirénées et particulièrement dans l'Ariège, Ed. Garilian-Goeury, París.
- GALLARDO, A., RUBIÓ i TUDURÍ, S. (1930). La Farga Catalana. Exposició Barcelona.
- GARRELS, R. M., CRHIST, C. L. (1967). Equilibres des minéraux et de leurs solutions aqueuses. París.
- GIL, P. (1600). Geografia de Catalunya. Ed. J. Iglésias (1949).
- GUITARD, G. (1954). Classification, position et âge de gîtes métallifères dans les Pyrénées-Orientales. C. R. Soc. Géol. France.

- GUIARD, G., PÉLISSONIER, H. (1956). Sur la genèse des gîtes de fer du massif de Mouthounet (Aude). Bull. Soc. Géol. France.
- HERASYMENKO, P., SPEIGHT, G. E. (1950). Derivation of the fundamental relationships. J. Iron and Steel Institute. Novembre.
- I. G. M. E. (1972). Mapa previsor de mineralizaciones de hierro. Madrid.
- I. G. M. E. (1972). Mapa previsor de mineralizaciones de manganeso. Madrid.
- JAEGER, J. L., OVTRACHT, A. (1955). La mineralisation des Hautes Corbières (Aude). Bull. Soc. Géol. France, 6,5.
- JAEGER, J. L., OVTRACHT, A. (1956). Le gisement de Sidérose filonienne de Mouthoumet (Aude). Bull. Soc. Géol. France.
- JARS, M. (1974). Voyages Métallurgiques. Lió.
- JAEGER, J. L., OVTRACHT, A., ROUTHIER, P. (1956). Sur l'origine exogène des gîtes de fer et de manganèse du massfi du Mouthoumet (Aude) Bull. Géol. France.
- JORDAN, S. (1875). Cours de Matallurgie. París.
- JULLIEN, C. E. (1861). Traité de la métallurgie de fer. París-Lieja.
- LAFORÊT, C., MONCHOUX, P., OUDIN, E., TOLLON, F. (1983) Inventaire minéralogique de la France, n.º 11, Ariège. Bassin versant du Salat B. R. G. M. París.
- LANDRIN, M. C. (1857). Nouveau manuel complet du maître de Forges. París.
- LAPEYTOUSE (1786) Citat per Richard, T., op. cit..
- LEDEBUR, A. (1903). Manuel de métallurgie de fer. París-Lieja.
- LLOPIS i LLADÓ, N. (1968). Mapa geològic d'Andorra.
- MADURELL, J. M. (1960). Contribución a la historia de la farga catalana. Rev. Técnica Metalúrgica, n.º 129.
- MAILFERT, J. (1878). Traité de Moulage en fer. París.
- MATA PERELLÓ, J. M. (1981). Els minerals de Catalunya. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.
- MOLERA, P., BARRUECO, C. (1983). Llibre de la Farga. Ed. R. Dalmau. Barcelona.
- PELOUZE, M. (1827). L'art du Maître de Forges. París, T. II.
- PERCY, J., (1865). Traité de Métallurgie. París, T. II.
- PERCY, J. (1865). Traité de Métallurgie. París, T. III.
- PERSEIL, E. A. (1966). Le manganèse dans la calcaire Griotte du massif de l'Arize (Ariège) et de la région de Saint Béat (Haute-Garonne). Bull. Soc. Franç. Miner. Crist. 89.
- PERSEIL, E. A. (1968). Caractères minéralogiques de quelques types de gisements manganésifères de la France méridionale. Bull. Soc. Géol. France, 7, 10.
- PIERROT, R., FORTUNÉ, J. L., PICOT, P., MONCHOUX, P. (1978). Inventaire minéralogique de la France, n.º 8, Haute-Garonne, B. R. G. M. París.
- REGNAULT V. (1850). Curso elemental de Química, París (trad. G. Verdú). T. III.
- REY, M. (1954). Constitution des laitiers fondus. Physique et Chimie des laitiers. Les cahiers du CESSID. Ed. Berger.

- RHEAD, E. L. (1928). *Metalurgia*. Ed. Labor. Barcelona.
- RICHARD, T. (1838). *Études sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais sans convertir le métal en fonte*. París, Ed. L. Mathias.
- RICHARDSON, F. D. (1974). *Physical Chemistry of melts in Metallurgy*. Academic Press. T. II.
- RODRÍGUEZ ALONSO, J. (1902). *Tratado de siderurgia*. Cádiz.
- ROKIE, R. A., HEMINGWAY, B. S., TISTHER, J. R. (1978). *Thermodynamic Properties of minerals and Related Substances at 298, 15° K and 1 Bar Pressure and Higher Temperature*. Coal-Survey Bulletin 1452. Washington.
- SOLÉ SABARIS, L. (1964) *Geologia de Catalunya*, Vol. II, Barcelona.
- The Making, Shaping and Treating of Steel* (1985) Mc. Gammon. U.S.A., 1971.
- THOS i CODINA, S. (1884). *Reconocimiento Físico-geológico minero de los Valles de Andorra*. Bol. Comisión Mapa Geológico de España, 11.
- TURKDOGAN E. T. PEARSON J. (1953) *Activities of constituents of iron and steel making slags part II. Manganous oxid*. J. of the Iron and Steel Institute. Deseembre.
- TURKDOGAN, E. T., Pearson, J. (1954). *Reaction equilibria between metal and slag in acid and basic open Hearth steel making*. J. of the Iron and Steel Institute. January.
- TYLECOTE, R. F. (1965). *Iron smelting in pre-industrial communities*. J. of the Iron and Steel Institute, 203.
- TYLECOTE, R. F. AUSTIN J. N. WRAITH, A. E. (1971). *The mechanism of the bloomery process in shaft furnaces*. J. of the Iron and Steel Institute, 209.
- TYLECOTE, R. F. (1987). *The early History of metallurgy in Europe*. Longman, London.
- VIOLI, G. (1972) *Processi Siderurgici*. Etas-Kompass, Itàlia.
- WURTZ, D. (1876) *Dictionnaire de Chimie pure et appliquée*. Hachette. París, T.I., 2.ª part.

T A U L A

AGRAÏMENTS	7
CAPÍTOL I	
Introducció	9
CAPÍTOL II	
Les menes de la farga catalana	19
Jaciments a la Catalunya estricta:	20
Grup I	21
Grup II	22
Grup III	23
Grup IV	24
Jaciments a Andorra	24
Jaciments a la Catalunya del Nord	25
Jaciments al departament de l'Aude	29
Jaciments al departament de l'Arieja	30
Procedència i estudi de les mostres de les menes.	32
CAPÍTOL III	
Descripció de la farga	37
Manera de conduir l'operació	44
Descripció del procés segons T. Richard	45
Descripció del procés segons J. François	56
Altres autors	62
Rendiment en ferro	63
Síntesi del procés	64
Les Fargues del Pirineu i llurs productes	65
CAPÍTOL IV	
Estudi del masser	67

CAPÍTOL V

Les escòries	103
Procedència de les escòries	106
Estudi de les escòries	106

CAPÍTOL VI

Mostres de ferro	125
Estudi de la mostra	126

CAPÍTOL VII

Interpretació metal·lúrgica	133
--	-----

CAPÍTOL VIII

Conclusions	161
------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

.	163
-----------	-----

AQUESTA OBRA S'HA ACABAT D'IMPRIMIR
ALS TALLERS DE ROMARGRAF, SA
A L'HOSPITALET DE LLOBREGAT
EL DIA 2 MARÇ DE 1992



