

## **ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO DE UNA ESCORIA METALÚRGICA APARECIDA EN EL YACIMIENTO DE BEGASTRI**

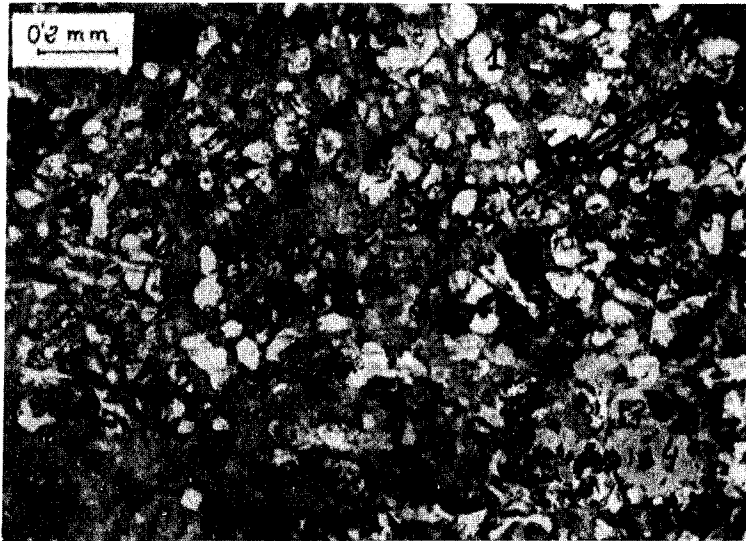
A. MADROÑERO DE LA CAL

### **1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA**

Se trata de una escoria encontrada en la segunda campaña de la excavación, en el corte A-III-80, Estrato II, recogida el 12 de diciembre de 1980, habiéndole sido asignado el número de inventario 149. Estaba envuelta en tierra como corresponde a un objeto que ha permanecido largo tiempo enterrado. Dado el nulo valor museable de la pieza, parece rentable arriesgarse a su destrucción en un estudio que determine el tipo de horno en el que fue generada, lo cual puede servir de orientación en la futura continuación de la excavación, en la actualidad apenas comenzada, ya que la aparición de un trozo aislado enterrado de escoria puede sugerir la posibilidad de que los hornos no estén muy lejos.

La pieza de escoria, de sólo unos cuarenta gramos de peso, presentaba un color gris-negruzco con gran cantidad de burbujas de aire ocluidas de hasta dos mm. de tamaño, y pequeñas inclusiones de aspecto ocre pulverulento y aunque alcanzaban tamaños de hasta 3 mm. eran muy escasas en número. Por su aspecto se las identificaría como glóbulos de herrumbre. En general la escoria tiene una apariencia vítrea con más aspecto de escoria metalúrgica que de cerámica.

Se trata pues, de establecer, mediante estudios de laboratorio y de acuerdo con los esquemas científicos de la Arqueometalurgia, el proceso que dio lugar a tal escoria, y los productos que podrían obtenerse en el tal proceso.



- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1. <i>Maghemita</i>           | 4. <i>Zona magnetítica (parcialmente vitrificada)</i> |
| 2. <i>Wustita</i>             | 5. <i>Silicatos (alargados)</i>                       |
| 3. <i>Nódulo de herrumbre</i> |   |

*Figura 1.—Vista general, a pocos aumentos, de la escoria.*

## 2. ANÁLISIS REALIZADOS

Se realizaron los siguientes análisis físico-químicos:

a) Análisis de la escoria (en su parte libre de inclusiones ocres). Una vez limpia de su capa externa sucia y posiblemente alterada por procesos de meteorización, fue sometida a análisis por los siguientes procedimientos:

—Análisis químico por difracción de rayos X.

Una conveniente proporción de la muestra fue triturada y cribada hasta un tamaño de polvo de aproximadamente 0,1 mm. Los polvos, compactados por simple presión mecánica, formaron una pastilla adecuada para su análisis por difracción de Rayos X, lo que fue realizado en un difractómetro Phillips bajo las siguientes condiciones operatorias:

Rendija del colimador .....	1°
Radiación X: Cu Ka (tubo de cobre y filtro de níquel)	
Velocidad de barrido .....	0,5°/min
Excitación del tubo .....	40 KV y 40 mA
Excitación del detector .....	1,8 KV
Fondo de escala del detector .....	1.10 <sup>3</sup> c.p.s.
Constante de tiempo del registrador .....	1 seg.
Velocidad de carta del registrador .....	1 cm/min

Se obtuvo un difractograma con un fondo muy alto (aproximadamente un 35% del fondo de escala) y una relación altura de pico máximo/fondo de solamente 0'4,10 que indica que la muestra tenía una deficiente cristalinidad, en perfecto acuerdo con su apariencia vítrea.

El difractograma fue interpretado utilizando un ábaco para resolver la ecuación de Bragg y los constituyentes fueron identificados por comparación con los difractogramas de sustancias puras publicados por la ASTM (American Society for Testing of Materials).

Los resultados deben entenderse semicuantitativos, pues los valores numéricos de los contenidos han sido establecidos suponiendo una perfecta proporcionalidad entre porcentajes y altura de los picos de difracción. El resultado del análisis fue:

Ficha ASTM utilizada	Nombre de la sustancia	Fórmula química	Porcentaje
6-615	Oxido ferroso (Wustita)	FeO	64'52
15-615	Oxido férrico	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	25'16
14-81	Silicato Aluminio-cálcico	Ca-Al-Si	10'32
		(fórmula exacta no establecida)	Total 100%

Se puede comprobar, además, la no existencia en cantidades detectables de: cuarzo (en sus distintas variedades), magnetita, hematíes, óxidos de hierro hidratados, fayalita (silicato de hierro) y anortita ( $2\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ ).

— Análisis espectrométrico (análisis metálico elemental). Dio como resultado:

Hierro .....	Base.
Calcio .....	Mucho.
Aluminio .....	1%.
Estaño .....	0'1%.
Potasio .....	2%.
Silicio .....	5%.
Cobre .....	0'1%.
Titanio .....	0'1%.
Plata .....	nada.
Níquel .....	nada.
Zinc .....	nada.
Plomo .....	nada.
Bismuto .....	nada.
Sodio .....	1%.
Magnesio .....	0'5%.
Bario .....	0'1%.
Manganeso .....	Indicios.

Estos resultados están en acuerdo con los de difracción en el sentido de que establecen al hierro como constituyente totalitario con algunas pequeñas adiciones de calcio y silicio, que

existen sin duda bajo forma de silicatos. Nótese que elementos como el oxígeno no entran en cuenta, por lo que estas cantidades son en realidad menores.

—Análisis de carbono y azufre (Strohhlein):

Los resultados fueron

Carbono .....	0'26 %
Azufre .....	0'036 %

Estos resultados indican que las menas no eran sulfurosas y que en la escoria hay muy pocos restos carbonosos (del carbón vegetal).

b) Análisis de las inclusiones ocreas.

A pesar de la reducida cantidad total que de las mismas había, pudo obtenerse la muestra suficiente para realizar un análisis por difracción de rayos X en cámara Debye Scherrer, aunque sin la posibilidad de contrastar los resultados con los obtenidos con otra técnica cualquiera.

El estudio del difractograma indicó que las inclusiones ocreas era una mezcla de herrumbre o hidróxido ferroso  $\text{FeO}(\text{OH})$  con tridimita (una de las variedades del cuarzo) y una apreciable cantidad de fosfato de hierro hidratado,  $\text{Fe}(\text{Po}_4)_3 \cdot (\text{OH})_3 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ .

### 3. EXAMEN MICROSCÓPICO DE LA ESCORIA

Solamente pudimos utilizar microscopio de reflexión pues sólo disponemos de un banco metalográfico, teniéndonos que limitarnos en nuestras micrografías al material fotográfico en blanco y negro. Una muestra de la escoria fue pues pulida y observada sin ataque alguno.

En la figura 1 puede verse que la escoria está constituida mayoritariamente por la nativa e inalterada maghemita (mena de partida, sin duda alguna) con algunas bandas de silicatos, que al actuar de fundentes facilitaron la transformación a una fase menos oxidada, la wustita, en cuyo seno llegaron a nacer pequeños nódulos de hierro libre, que por efecto de la humedad y demás condiciones del medio enterrado, se trastocaron en herrumbre con el transcurso de los siglos.

A más aumentos (figura 2) pueden verse estos nódulos ocreos en el interior de bolsas de wustita, nunca en el seno de un grano de maghemita inicial. A estos aumentos (200) puede verse que prácticamente toda la masa de wustita está plagada de nódulos ocreos diminutos, en indudable proceso de crecimiento en el momento que la escoria fue enfriada. En la figura 3 puede verse uno de los escasos rastros de magnetita, que posteriormente se trastocaba en wustita.

### 4. COMENTARIO FINAL

Se trata evidentemente de una escoria formada a partir de una mena maghemítica, extraordinariamente pura como especie mineralógica, pues el contenido en sílice procedente de la ganga, ha demostrado ser bajísimo. Solamente hay algún acompañamiento de silicatos complejos.

Este tipo de escoria no podía tener aplicación alguna como barniz cerámico, pues su temperatura de fusión es altísima del orden de los  $1.400^\circ\text{C}$ . En los barnices cerámicos artificialmente se añadía justamente la sílice como fundente para disminuir el punto de fusión de los óxidos de atractivo color.

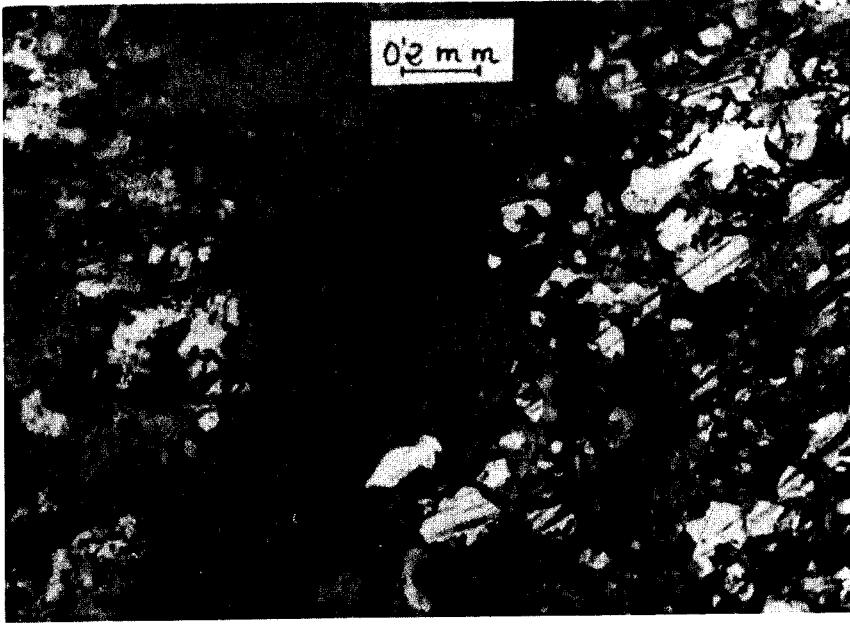
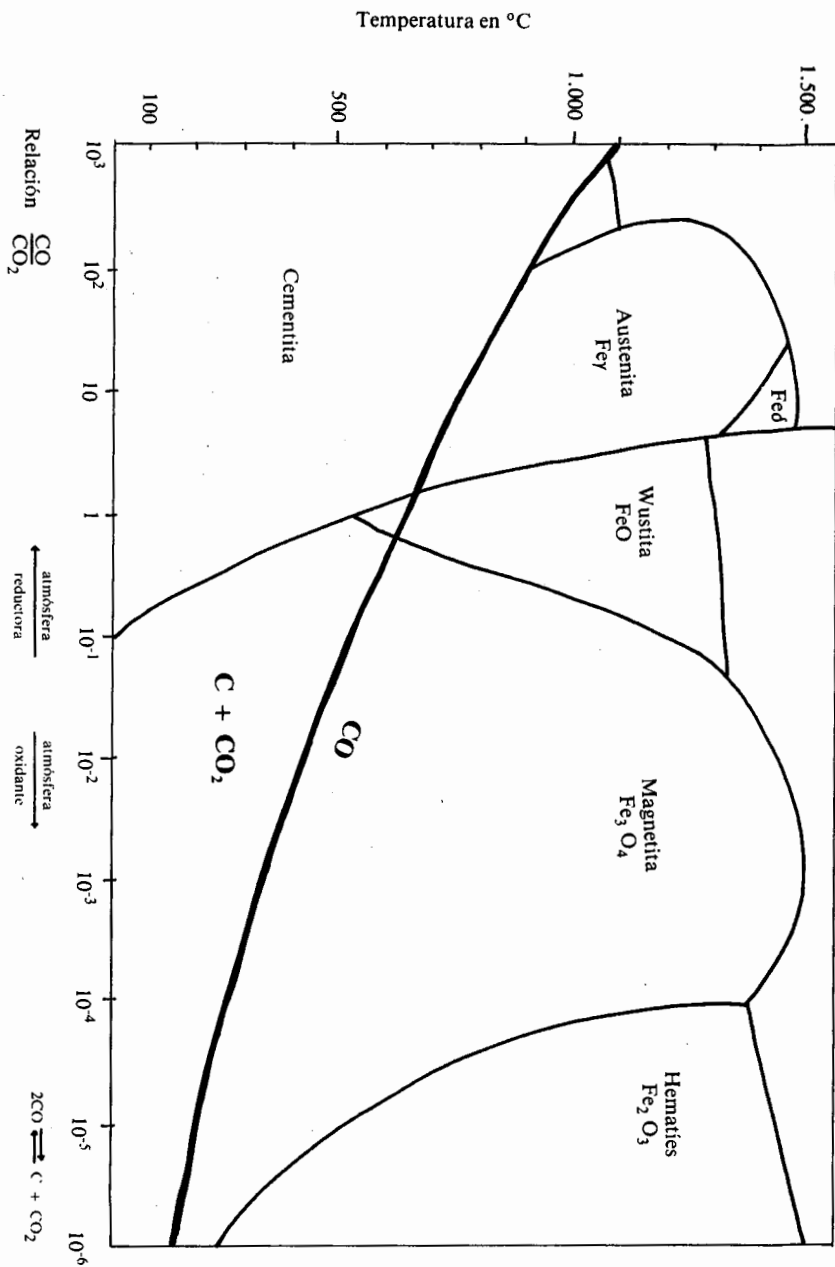


Figura 2. Nodulos con aspecto de herrumbre



Figura 3. Formulación de wusita nucleado alrededor de un afloramiento de silicatos. Frontera de magnetita (cambio de color).



Tomada del texto de J. S. Kirkaldy y R. J. Ward "Aspects of modern ferrous metallurgy" University of Toronto Press (1964) p. 43.

Figura 4. Diagrama de equilibrio de los óxidos de hierros para explicar la marcha de su reducción.

Se trata pues por no haber otra alternativa viable de la conocida marcha de la metalurgia extractiva del hierro, maghemita o hematitas magnetita wustita hierro libre. Si la escoria no se había trastocado en su totalidad en una pella de hierro se debe sin duda a una insuficiente temperatura, o a una falta de tiempo de procesado. Posiblemente sea un pedacito de escoria que se formó junto al revestimiento del horno, alejada del ardentísimo centro de la masa en transformación avivada en la salida de la tobera de soplo de un horno de beneficio de hierro, romano o de La Tène cuando menos. Sin duda pertenecía a la cáscara de escoria que el herrero retiraba para extraer de su corazón el apreciado changote de hierro pastoso. Escorias como la examinada se volvían a procesar, y si la suerte las colocaba en un punto ubicado más cerca de la tobera, se descomponían al fin en volátil humo y metálico hierro. Se trata sin duda de una metalurgia muy moderna pues rendía un hierro muy puro.

La ausencia de manganeso y la existencia del 0,1% Cu hacen pensar (junto al tamaño de los granos de maghemita todavía intactos) en una mena de hierro extraída no de una mina como las actuales, sino mediante lavado de arenas ferruginosas, tan abundantes por doquier.

La escasez de magnetita y el casi total dominio de la Wustita hacen pensar (figura 4) que la escoria que acabamos de estudiar se formó a temperaturas poco superiores a los 600°C con una atmósfera moderadamente reductora ( $CO/CO_2 - 1$ ), ya que con atmósfera más oxidante se habría producido más magnetita. Como es sabido los hornos anteriores a la época romana producían escorias más magnetíticas. Así pues cabe esperar que el horno que produjo esta escoria era grande, tenía bien controlada la entrada del viento, y en su corazón se producía un hierro puro y limpio, que por su moldeabilidad, resultaba útil incluso para la fabricación de piezas delicadas.

La completa excavación del yacimiento de Begastri, quizás nos permita contemplar algún día a los hornos capaces de fabricar aquellos envidiables hierros.