

II
ACTIVIDADES
SISTEMÁTICAS
Y PUNTUALES

ANUARIO ARQUEOLÓGICO
DE ANDALUCÍA / 2001



JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE CULTURA

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA 2001. II

Abreviatura AAA'01.I

Coordinación de la edición:

Dirección General de Bienes Culturales
Servicio de Investigación y Difusión del
Patrimonio Histórico

C/ Levíes, 27
41071 Sevilla
Telf. 955036900
Fax 955036943

Gestión de la producción:

Empresa Pública de Gestión de Programas Culturales
Área de Programas de Cooperación Cultural y de Difusión e
Instituciones del Patrimonio Histórico

© de la edición: Consejería de Cultura.

© de los textos y fotos: sus autores

Edita: Consejería de Cultura.

Impresión Tecnographic, S.L. Artes Gráficas. SEVILLA

ISBN de la obra completa: 84-8266-450-6

ISBN del volumen: 84-8266-452-2 (T. II)

Depósito Legal: SE-3.089/2004 (T. II)

MUNIGUA 2001 (VILLANUEVA DEL RÍO Y MINAS, SEVILLA)

THOMAS G. SCHATZNER
JUAN AURELIO PEREZ MACÍAS
G. OVEJERO ZAPPINO

Resumen: Descripción del filón de cobre y de la minería de hierro en *Munigua* y en su entorno. Caracterización del potencial geológico y particularidades de su extracción. En relación al yacimiento: documentación de la apertura en la muralla que forma la salida de *Munigua* hacia el N.

Summary: Description of the copper and iron mining in *Munigua* and its surroundings. Characterization of the geological conditions and details of extraction. As to *Munigua* itself: documentation of the city's northern exit, which is merely an opening in the city-wall.

1. ANÁLISIS MICRO-ESPACIAL DE LOS ESCORIALES DE MUNIGUA

Dentro del programa de estudio de las actividades productivas metalúrgicas desarrolladas en época romana en *Munigua*, la campaña del año 2001 estuvo dirigida a completar el panorama de los asentamientos mineros dedicados a la extracción de minerales de cobre y al análisis micro-espacial de los escoriales de hierro de esta ciudad hispano-romana.

Ya en campañas anteriores la prospección del entorno muniguense profundizó en el muestreo de las mineralizaciones de cobre, especialmente las que se extienden desde la zona de Manchallana hasta Piedra Resbaladiza y la de la zona de Puerto Cid. Una prospección de tipo extensivo en este grupo de yacimientos mineros permitió su caracterización desde el punto de vista geológico, catalogándolas como filones de sulfuros de cobre con concentraciones residuales de oro, y desde la perspectiva de su aprovechamiento minero-metalúrgico, detectándose el comienzo de su laboreo desde mediados del II milenio a.C. en el asentamiento fortificado de Piedra Resbaladiza, su continuidad a lo largo del Bronce Final, especialmente en los sectores de La Pepa y Manchallana, y la cristalización de su aprovechamiento industrial en época romana, desde momentos republicanos hasta la segunda mitad del siglo I d.C.

El estudio de la actividad metalúrgica ha podido realizarse en cada uno de los sectores por la recogida de muestras minerales, metalúrgicas y cerámicas, que certifican con datos contrastados la evolución y ritmos de esta producción metalúrgica.

Se realizó también un primer acercamiento a la actividad metalúrgica realizada en la propia ciudad. Se optó en este caso por un muestreo aleatorio, no selectivo, de cada uno de los escoriales de *Munigua*, en un intento por definir en primera instancia las diferencias de las operaciones metalúrgicas llevadas a cabo en la propia ciudad y en su territorio. Estos análisis nos demostraron que en época romana hubo una planificación minero-metalúrgica, pues mientras las operaciones de tratamiento de minerales de cobre se realizaban a pié de mina, como es patente en los escoriales de La Pepa, el tratamiento metalúrgico de la ciudad estaba relacionado en su inmensa mayoría con la producción de hierro. Aunque una primera producción de cobre ha podido detectarse en uno de los escoriales de la ciudad a fines del siglo I a.C. y comienzos del I d.C., la economía de la ciudad adquiere carta de naturaleza por la producción de hierro.

Por lo tanto, parecía evidente que *Munigua* surgió como núcleo relacionado con la producción de cobre por el aprovechamiento de las mineralizaciones cercanas de sulfuros de cobre, pero la economía de la ciudad va a ir dependiendo cada vez más de la producción de hierro, que va a ser la que avale la capacidad económica de la fase municipal.

Además del análisis de los productos metalúrgicos, el proyecto se ha centrado también en la documentación de los complejos mineros asociados a estas producciones. En campañas anteriores ha podido establecerse el sistema de minería romana en la zona de la Pepa, que se mantiene virtualmente intacto debido a la escasa entidad de las operaciones mineras desarrolladas en la segunda mitad del siglo XIX, en las que sólo se realizaron algunas labores de investigación, que buscaban la profundidad de estas mineralizaciones por medio de pozos maestros, que en ninguna forma supusieron tareas de extracción y producción.

En esta campaña se ha realizado la topografía y la documentación fotográfica de las labores mineras de la zona de Puerto Cid. La tipología de las labores registradas en Puerto Cid repiten el esquema de explotación ya investigado en La Pepa. Desde el punto de vista geológico las mineralizaciones de Puerto Cid corresponden a un largo filón de sulfuros de cobre, cuya oxidación en zonas superficiales da lugar a una concentración de minerales de cobre. Como ya pudo establecerse en La Pepa, con la que mantiene grandes similitudes, el laboreo romano se ha concentrado en esta zona de oxidación, donde se llevó a cabo una minería de rapiña sobre las zonas con más altas leyes de cobre.

La minería romana en Puerto Cid no es en modo alguno, sin embargo, un sistema extractivo desordenado. El concepto de minería de rapiña debe aplicarse sólo a la forma de extracción de los minerales con altas leyes de cobre, bien perceptibles para la minería de la época por las irisaciones verdes que se producen por el proceso de cementación al que se encuentran sometidas por el contacto con el oxígeno de las aguas superficiales y los procesos de emigración a zonas más profundas.

El filón se encuentra inclinado, y no se ha atacado el crestón que lo delata en superficie, sino desde los costados, el más cercano a la superficie, desde el que existía menor distancia con la zona de cementación de los minerales de cobre.

El complejo minero se organizó, se planificó, como una larga galería subterránea que recorrió toda la zona de enriquecimiento secundario, lo que permitía al minero romano ir "pelando" bolsadas de mineral con buenas concentraciones de cobre. Esta galería principal que recorre todo el filón no es por ello una labor uniforme en su trazado, ni rectilínea, se va adaptando en todo momento, por el contrario, a la disposición de las mineralizaciones. De este modo se van formando a lo largo del recorrido algunas cámaras, que corresponden a zonas donde el mineral era más abundante, y pasos estrechos entre ellas. A veces se crean cámaras a distintas alturas, con distintos huecos, las zonas donde la extracción romana ha obtenido el mayor rendimiento.

Un segundo elemento característico de esta minería son los pozos de acceso y ventilación. La forma y disposición de galería principal, una sucesión continua de cámaras y pasos angostos, no permitía una entrada cómoda a las labores desde el exterior y, menos aún, la evacuación del material minado.

Para facilitar la comunicación con el exterior se tallan a intervalos, coincidiendo con las zonas de mayor extracción, pozos gemelos. Todos estos pozos son de forma circular o subcircular. Al igual que ocurre con la galería principal, su desarrollo en profundidad no siempre es vertical, sigue la disposición de mineralización, y son frecuentemente inclinados (pozos-rampa), porque la mineralización también lo está.

La minería romana de Puerto Cid delata un trabajo de extracción perfectamente planificado por la construcción de una galería de desagüe, que recorre la mineralización a un nivel inferior que la galería de extracción. Su forma es también distinta, es rectangular y muy regular en su trazado.

Las normas reguladoras de la minería romana se manifiestan también en algunas medidas de seguridad para evitar derrumbamientos en las zonas de mayor extracción. Se conservan en algunas cámaras columnas y pilares que aseguraban el techo o los costados de las cuevas. Estas columnas, generalizadas en la minería romana, eran denominadas por los mineros antiguos "llaves", nombre que informa de su funcionalidad.

El mineral de Puerto Cid era tratado a pie de mina, donde se encuentra un pequeño escorial donde se seleccionaron muestras minerales y metalúrgicas para su estudio. Estos minerales del escorial son los que indican de manera más directa las mineralizaciones buscadas y extraídas para su fundición, y la rentabilidad de las leyes explotadas. Los minerales recogidos en el escorial son un mineralotecto formado por silicatos de hierro-cobre, que es el predominante, óxidos de hierro, sulfuros de cobre, y óxidos de cobre. El silicato de hierro-cobre ha ofrecido la siguiente composición general:

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	%
0,42		16,08	0,67		26,68	19,24	

A nivel más puntual se han detectado dentro del mismo formaciones de óxidos de hierro, silicatos de hierro-cobre, y pintos de sulfuros de hierro:

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	%
0,99	1,95	9,20			51,98	12,24	
0,03	0,11	14,56			29,82	34,26	
0,38	0,06	0,07	50,51		48,33	0,51	

Otra muestra se encontraba también dentro de esos porcentajes, con silicatos de hierro como dominante, y formaciones de óxidos de hierro, sulfuros de cobre y óxidos de cobre:

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	%
3,33	0,64	41,37	2,14		6,82	35,18	
		1,57	21,72		0,63	70,93	
		13,04	0,52		0,48	98,00	
					2,29	57,97	

Estos minerales, con predominio de formas de óxidos y silicatos, y los bajos valores de sulfuro proceden de la zona de oxidación de la mineralización, pero los altos niveles de cobre son propios de la subzona inferior de la misma, donde se concentran los minerales de cobre disueltos y arrastrados por la acción de las aguas.

En este escorial se habían recogido también antes muestras de escorias, que después de analizadas han resultado ser de producción cuprífera. En esta ocasión la prospección microespacial del escorial ha permitido la distinción de un nuevo tipo de escoria, porosa y de tonalidades amarillentas y verdosas. Estos nuevos elementos, analizados como los anteriores en los Servicios Generales de Investigación de la Universidad de Huelva, corresponden a una mata de cobre, y testimonian la forma en que se llevó a cabo la reducción del mineral antes de la fase de fusión. En ellas se encuentran cada uno de los

elementos minerales descritos antes a propósito de los análisis del mineral, pero en mayores proporciones, como corresponde a un proceso de concentración. Entre estos elementos de la escoria se distinguen sulfuros de hierro-cobre, silicatos de hierro-cobre, silicatos de cobre, y sulfuros de cobre:

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	Sb	%
			48,62		15,19	34,83		
			41,53		10,38	24,57		
			19,54			70,17		
			7,76		58,61	11,62		
	41,53		2,94		10,38	24,57		
					9,75	7,42	84,93	

Los elementos presentes en este proceso coinciden con los descritos anteriormente en los minerales recogidos. Suponen un primer tratamiento de los minerales, de reducción de los mismos para obtener un concentrado de cobre (mata) que en el siguiente proceso de fundición llegaría a la fase de óxido de cobre (lingote) por las cargas de sílice y óxido de hierro.

La confirmación de la existencia de estas escorias que plantean el proceso seguido en el horno por los minerales, nos llevó a prospectar de nuevo el escorial de La Pepa, ya estudiado en campañas anteriores, para detectar este tipo de escorias. En la Pepa existen también en abundancia estas escorias que confirman el proceso de reducción de los minerales de cobre, lo que otorga a las fundiciones romanas de *Munigua* una unificación de los procesos metalúrgicos, una misma mano y experiencia en las operaciones de reducción. Estas escorias de reducción de los minerales de cobre de La Pepa contienen especialmente sulfuros de cobre y silicatos de cobre, el paso previo a la formación del óxido de cobre (lingote):

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	%
1,01	3,49	50,98	3,26		30,22	7,43	
0,94	0,84	13,78	1,68		50,21	10,96	
0,86	1,36	25,18	0,90		39,14	11,41	
1,11		0,63	19,75		1,40	27,64	
1,85			41,25		11,24	45,49	

La presencia de todos estos elementos en los residuos metalúrgicos facilita la comprensión del proceso metalúrgico al completo. El proceso se inicia con el tratamiento de un sulfuro de cobre-hierro, con una ley que puede alcanzar el 45% Cu. Este mineral se reduce con sílice, que facilita la formación de un silicato de cobre (41% Si y 35% Cu), presentes tanto en La Pepa como en Puerto Cid. La fundición de este silicato de cobre con óxido de hierro permite obtener un óxido de cobre (0,48% Fe y 98% Cu). Tal como se ha propuesto para otras fundiciones romanas del suroeste el tratamiento del mineral supone un proceso continuo en el horno para que el mineral pase de la forma de sulfuro a la de óxido, de la que se obtendrían tres productos, escorias en forma de silicatos de cobre, escorias en forma de silicatos de hierro, y el óxido de cobre (lingote).

Todos estos elementos han podido ser fechados por la recogida de material arqueológico en el escorial, sobre todo bordes de ánforas Haltern 70, de la primera mitad del siglo I d.C. Esta cronología viene a indicar que la producción de cobre en *Munigua* cesó a lo largo de la segunda mitad del siglo I d.C., momento a partir del que la ciudad se va a convertir en un centro productor de hierro.

Durante esta campaña se ha dedicado atención también a los escoriales de hierro del entorno urbano, que en campañas anteriores fueron clasificados como escoriales de producción siderúrgica. Así como la prospección sistemática de los escoriales de cobre de las zonas de La Pepa y Puerto Cid ha ofrecido los elementos metalúrgicos que permiten la descripción de las formas de extracción minero-metalúrgica, desde el

mineral hasta el metal, se realizó una prospección de tipo micro-espacial en los escoriales de hierro para poder distinguir los diversos productos mineralúrgicos y metalúrgicos que permitan plantear el proceso de la producción de hierro. Se recorrieron cada uno de los escoriales del entorno urbano, escorial suroeste, escorial oeste, escorial norte, y escorial sureste, y cada uno de los edificios de la ciudad, y se seleccionaron distintas muestras para su analítica.

Una primera circunstancia debe subrayarse, la prospección geológica realizada durante la primera campaña del proyecto reconoció en los alrededores de *Munigua* mineralizaciones de cobre, las formaciones de Manchallana-Piedra Resbaladiza y Puerto Cid, cuyas composiciones no son una buena masa de minerales de hierro, aunque éste esté presente en la zona de oxidación superficial de estos campos filonianos de sulfuros de cobre. Algunos estudios realizados con anterioridad a este proyecto habían planteado que la composición de la escorias de *Munigua*, con mucho hierro en forma de magnetita, incidían en que el mineral debía proceder de la zona de El Pedroso, donde estos depósitos de magnetitas alcanzan las mayores proporciones. Antes de iniciar la prospección de estos depósitos de minerales de hierro, en los que debe centrarse la siguiente fase del proyecto, era conveniente la prospección de los escoriales de la ciudad en la busca de estos minerales, lo que indicaría de manera clara que el abastecimiento de minerales y hierro no procedería de las minas del entorno muniguense, sino de zonas más alejadas de la comarca del Pedroso, cuyo control debería estar en manos de los mineros y metalurgos de *Munigua*. De esta forma *Munigua* adquiere un papel relevante como centro metalúrgico de tratamiento de minerales de hierro para la fabricación de útiles para las explotaciones agrícolas del Valle del Guadalquivir. Expresado de otro modo, *Munigua* inició su andadura como asentamiento romano con las características propias de asentamiento minero-metalúrgico que explota las mineralizaciones cercanas de cobre (Manchallana-Piedra Resbaladiza y Puerto Cid), pero con el paso del tiempo, y como consecuencia probable del agotamiento de los niveles de enriquecimiento secundario de los filones de cobre, iría convirtiéndose en un centro metalúrgico, de tratamiento de minerales de hierro, lo que permitiría el mantenimiento de los niveles de poblamiento en la ciudad y su período de esplendor. La ciudad en este momento ya no alberga la población minera de los alrededores, sino a los metalúrgicos especialistas en la elaboración del hierro. No obstante, la ciudad, ahora convertida en municipio, debería seguir siendo el referente urbano desde el punto de vista económico, social, religioso, y funerario de las poblaciones mineras de la zona.

Sin entrar en el detalle de los elementos metalúrgicos analizados de cada escorial, describiremos a continuación sólo los elementos principales que coadyuvan a la comprensión del método metalúrgico que se siguió, con independencia del escorial del que proceden. A pesar de esto, conviene aclarar que en todos los escoriales existen todos estos elementos, que son el testimonio de un mismo proceso metalúrgico, los minerales y los distintos tipos de escorias que se generaron en las operaciones a que se sometieron para producir hierro.

Con relación al mineral, éste aparece en abundancia en la ciudad, tanto en los escoriales como en otros ambientes urbanos, aprovechado como material de construcción, como cimentación de las vías públicas, etc. En todos los casos los minerales empleados son oligisto y magnetita (óxidos de hierro), que como se ha reseñado anteriormente proceden de las mineralizaciones de la zona de El Pedroso, pues las del entorno de la ciudad son sulfuros de cobre. Una muestra del escorial suroeste arroja la siguiente composición:

Al	Si	Ca	V	Fe	%
0,20	11,15	0,24	0,24	88,85	

El hierro aparece bajo la forma de óxido (69% Fe y 25% O), y corresponde a magnetita según el análisis geológico. Otra muestra del escorial sureste es un oligisto con una composición porcentual alta en sílice y hierro, pero con una matriz formada de óxidos con diferentes fases de óxidos de hierro:

Al	Si	Ca	V	Fe	%
0,17	27,32	0,06	35,59	41,60	
	0,19		63,82	18,87	
	1,55		53,34	16,92	

Son minerales de altas cualidades metalúrgicas, con buenos tenores de hierro y sin la presencia de otros elementos, como el arsénico, que hubiera dificultado el proceso de fundición y depuración, y en definitiva una buena materia prima.

La metalurgia del hierro es más complicada que la del cobre desde el punto de vista técnico, aunque más fácil de entendimiento por tratarse de operaciones metalúrgicas con un óxido de hierro para la obtención de hierro metálico, un paso que se supera con la transformación del Fe II a Fe I en un proceso de concentración que requiere una más alta temperatura que la metalurgia del cobre y una especial atención a la oxidación que facilita la transformación del óxido de hierro en hierro dulce (óxido ferroso). A este proceso se encuentran relacionados tres tipos de evidencias metalúrgicas, localizadas en cada uno de los escoriales de *Munigua*, la escoria de sangrado, la escoria de forja, y una tercera, pesada y compacta, que hemos denominado escoria densa para diferenciarla de las anteriores.

La escoria de sangrado es una fayalita de desecho de la operación de fundición de la magnetita-oligisto (óxidos de hierro). A nivel microscópico esta formada por cristales de silicatos de hierro y ferrosilicatos, atravesados por una matriz dendrítica de óxido ferroso (wüstita) según los planos de enfriamiento. La composición de cada una de estas fases indica que el proceso seguido por la reducción del mineral dentro de la cámara del horno es: silicato de Hierro-Ferrosilicato-Óxido Ferroso, fases que se ven facilitadas por la adición de un fundente de sílice. La composición de cada una de estas fases es la siguiente:

Mg	Al	Si	S	Mn	Fe	Cu	%
19,80	35,65	7,08	9,51	0,31	1,74	15,96	
	28,37		1,08		7,60	52,17	
1,03	0,58				2,78	81,81	

De esta primera fase de reducción del mineral se obtenía así pues la escoria y la esponja de hierro formada en la línea de las toberas, donde se ha llevado a cabo el mayor grado de oxidación del mineral. El producto de esta operación es un óxido ferroso con una concentración de en torno a 82% Fe de hierro dulce. Estas escorias de sangrado son de tonalidades grises y negras, resistentes a la oxidación por la matriz silícea de la que están compuestas.

Las escorias de forja son el resultado del tratamiento del óxido ferroso para su transformación en un hierro metálico. La cantidad de sílice (silicato de hierro) en la misma indica que el óxido ferroso todavía contenía cierta cantidad de este elemento. Otra fase de la misma es ferrosilicato, pero lo que verdaderamente distingue a esta escoria es la abundante formación de óxido ferroso (wüstita), ahora en mayor concentración que en la escoria de sangrado, y la presencia de algunas fases de hierro metálico. Desde el punto de vista de su aspecto general es una escoria que se altera fuertemente con manchas rojizas en su estructura por la debilidad de los óxidos de hierro a la oxidación y el bajo índice de vitrificación por la escasa cantidad de sílice de la misma. Las fases comentadas en ella son las siguientes:

Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	%
1,66	0,27	30,32	0,89	9,77	57,74		
0,54	2,73	10,50	0,96	3,70	79,80		
	1,24	0,28		3,66	92,63		
		0,28			99,13		
0,33					97,40		

Esta escoria supone el tratamiento de la esponja de hierro un compuesto rico en óxido ferroso de cerca de 79% Fe, para obtener hierro metálico, que aparece en pequeñas drusas dentro de la escoria con 97-99% Fe.

La escoria densa, sin dejar de ser una fayalita (silicato de hierro), contiene mayor abundancia de hierro que la escoria de sangrado. En su aspecto microscópico se distinguen formaciones de silicatos de aluminio (arcilla procedente de las paredes del horno), silicato de hierro, ferrosilicatos, y óxido ferroso:

Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	%
0,57	6,07	24,05	1,61	2,19	0,15	5,12	61,24	
	21,94	41,13	9,07	8,37		1,77	19	
1,37	0,26	30,96				9,01	60,29	
	0,30	0,31			0,37	3,09	94,62	

En el escorial oeste recogimos también una muestra de escoria densa, muy pesada, con una composición general de óxido ferroso, pero en la misma se distinguen algunas partículas de silicato de hierro, cloruro de hierro, y pequeñas bolitas de hierro metálico:

Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cl	%
		0,42					90,20		
	9,95	37,42	2,08	1,30		2,43	51,50		
						0,24	63,39	35,45	
							99,91		

Todos estos residuos metalúrgicos seleccionados en la prospección de los escoriales de hierro y cobre, permiten avanzar un esquema de los sistemas de fundición practicados en época romana en *Munigua*.

La metalurgia del cobre de la zona de La Pepa y Puerto Cid sigue un mismo proceso de fundición, tal como se demuestra en los desechos de los escoriales. Dentro de éstos se han recogido tres tipos de productos, el mineral, la escoria porosa de tonalidades amarillas y verdes, y la escoria de sangrado.

En la zona de La Pepa el mineral es un sulfuro de cobre-hierro y sulfuro de cobre, con unas leyes en los sulfuros de hierro-cobre de 45% Cu y en los sulfuros de cobre de 67% Cu.

No hemos encontrado en nuestras prospecciones elementos relacionados con el primer proceso de reducción, la tostación, operación necesaria en época moderna en la metalurgia de los sulfuros. Esta operación supondría fundir el mineral sin sílice, lo que facilita la eliminación de sulfuro y la formación de un concentrado de cobre por la pérdida de este elemento. Ignoramos si se llevaba a cabo una simple operación de tostación al aire libre, pues estas operaciones dejan escasa huella en el registro arqueológico de superficie.

Por la falta de estas evidencias cabe suponer una "calcina-ción a muerte" de estos minerales dentro del horno de fundición. En esta operación de fundición interviene sílice como elemento fundamental, de cuya adición quedan huellas en todos los residuos de esta fundición. La sílice facilita la formación de un silicato de cobre, es decir la transformación del sulfuro de cobre, desde el que es imposible obtener un óxido de cobre, en silicato de cobre, del que puede pasar a la forma de óxido de cobre con la adición de un óxido de hierro. De este modo las transformaciones químicas que se operan en el horno son: sulfuro de cobre+ sílice= silicato de cobre+óxido de hierro= óxido de cobre (cobre metálico).

Esta operación deja dos residuos, la escoria amarilla-verde, muy porosa, y la escoria de sangrado, fayalitas formadas porque la sílice reacciona con el hierro y pasa a formar un silicato de hierro o ferrosilicato. El cobre metálico se forma a partir de un sulfuro de cobre, que con la sílice se convierte en un silicato de cobre, y éste con óxido de hierro en óxido de cobre. El óxido de cobre tiende a situarse por gravimetría en el fondo del

horno, donde se va formando con las sucesivas cargas de mineral, carbón, sílice y óxido de hierro un lingote de forma plano-convexa, mientras la escoria se acumula por encima de él. Para facilitar las sucesivas cargas en el horno hasta formar un buen lingote, se practicaba un agujero en la pared del horno, por encima de donde se quería formar el lingote, y a través del mismo se va sangrando hacia el exterior la escoria que se va formando, para de esta manera permitir nuevas cargas de mineral.

La escoria de tonalidades verdes y amarillas es una escoria de horno, la que no se ha podido sangrar fuera del horno después de la última operación de fundición para conseguir un buen lingote, y por ella conocemos el proceso que se ha verificado en el interior del horno desde la introducción de mineral, sílice, óxido de hierro, y carbón hasta la formación del óxido de cobre (lingote). Aunque esta escoria la hemos descrito como una mata, no lo es en sentido estricto, pues las verdaderas matas no tienen sílice y son simplemente la reducción del mineral de cara a la eliminación de sulfuro y a la concentración del cobre. En La Pepa y Puerto Cid conocemos, sin embargo, que dentro del horno se va formando una fase muy rica en cobre (escoria amarilla-verde), el paso previo a la formación del óxido de cobre. En resumen, dentro del horno se forma en primer lugar un silicato de cobre-hierro (escoria amarilla-verde) y posteriormente, a medida que avanza el proceso de fundición, este compuesto se depurará para formar un silicato de hierro, que se va sangrando hacia el exterior de horno (escoria de sangrado), y un óxido de cobre, que se irá acumulando en el fondo del horno (lingote).

Esta escoria de horno amarilla-verde (silicato de cobre) no es muy abundante en los escoriales, porque sólo se desecha en la última hornada, aquélla en la que una vez formado el régulo de cobre se hace necesario romper la estructura del horno para recuperarlo, extrayéndose a la vez parte del material que no había alcanzado la fase de óxido de cobre. Dentro de las mismas existen fases de silicato de aluminio, que corresponden a las adherencias de la arcilla que forma las paredes de los hornos.

Gracias a estas escorias, que forman parte de un proceso que no ha terminado, conocemos la concentración de cobre en todas las fases de la fundición, el mineral (sulfuro de cobre de 34% Cu), silicato de cobre (57% Cu), y óxido de cobre (98% Cu). Los lingotes de cobre de *Munigua* tendrían pues un enriquecimiento en torno a 98% Cu.

El proceso de fundición del hierro dependió en gran medida de la experiencia adquirida en las fundiciones de cobre. Se puede concluir en primera instancia que los metalurgos de *Munigua* eran especialistas en la fundición de minerales de cobre y aplicaron este conocimiento a la fundición de minerales de hierro, sin introducir grandes modificaciones en ella, salvo en las operaciones de refinado y concentración del óxido ferroso. De las dos fases comentadas a propósito de las fundiciones de cobre (silicato de cobre-óxido de cobre), en la metalurgia del hierro la fase de silicato se podía haber eliminado simplemente porque el mineral ya era un óxido (óxido de hierro), y no era necesaria la adición de sílice para formar esta fase intermedia. Sólo era preciso concentrar el óxido de hierro, transformándolo en óxido ferroso, y finalmente en hierro metálico (óxido férrico).

Tal como ha demostrado la prospección, los minerales utilizados en la producción siderúrgica son la magnetita y el oligisto (óxidos de cobre), con unos niveles entre 60-80 % Fe.

Este mineral se somete a la fundición con carbón y sílice, y de ella se obtiene un concentrado de óxido ferroso, que se va formando en las zonas más próximas a la línea de las toberas, allí donde es más intensa la oxidación por la entrada de oxígeno desde los fuelles, y escoria, que se va sangrando hacia el exterior del horno para permitir nuevas cargas de mineral (escoria de sangrado). En este caso el régulo de hierro (óxido ferroso) se forma por encima de las escorias, pues las toberas se encuentran a media altura, mientras la escoria se sangra por la

parte inferior del horno. Dentro del horno queda, no obstante, parte de la escoria. Esta escoria es la que hemos denominado escoria densa, más rica en óxido ferroso que la de sangrado, pero no deja de ser un ferrosilicato. El régulo de óxido ferroso no es puro y está rodeado todavía por parte de escoria, que no se eliminará totalmente, ni en la fase de hierro metálico.

Para conseguir un hierro de calidad era necesario recocer en otra fundición el óxido ferroso, ahora ya solamente con carbón, de la que se obtiene la escoria de forja, con un índice de 70% Fe, y el hierro metálico (óxido férrico), que según los tenores en que aparece en el régulo de óxido ferroso del escorial oeste rondaría el 99,91% Fe. Esta segunda fundición se denomina de forja porque en ella no intervienen fundentes, y el carbón favorece la carburación para obtener un hierro dúctil de gran pureza.

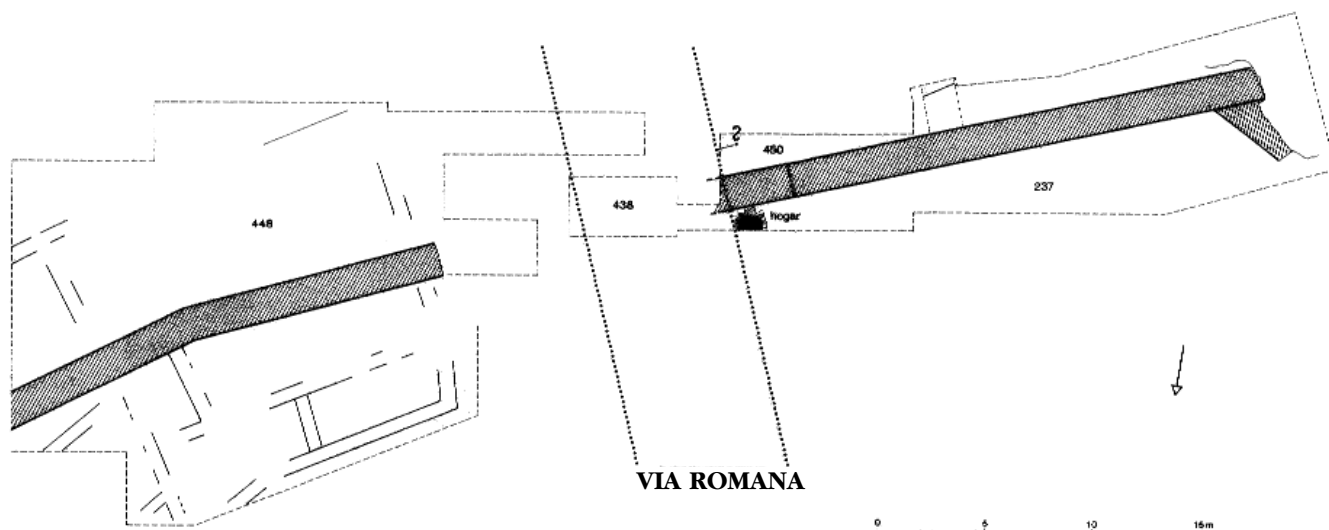
Todos estos datos que ha aportado la prospección arqueometalúrgica de *Munigua* y sus escoriales, se deduce que las operaciones de fundición y forja se llevaban a cabo en lugares distintos. En la ciudad, en sus calles, y casas el elemento más abundante es la escoria de forja, mientras en los escoriales el residuo mayoritario es la escoria de sangrado. Es decir, el mineral de hierro se trataba en primer lugar en los alrededores de la ciudad, en los escoriales, donde se obtendría una esponja de hierro muy rica en óxido ferroso, que posteriormente sería tratada en pequeños hornos de forja en distintas estancias de la ciudad, donde se obtendrían régulos de hierro metálico para su posterior comercialización.

La posición estratigráfica de los hornos de forja en la ciudad, en niveles infrayacentes a los espacios domésticos, nos informa también que este análisis espacial de las operaciones de fundición de hierro es sólo válido para la etapa anterior al momento de monumentalización flavia. Carecemos de datos arqueológicos para conocer el lugar de ubicación de los hornos de forja a partir de este momento, pero es posible que se encuentren en los edificios situados junto a los escoriales, en los llamados "talleres" recogidos en el plano de la ciudad. En el único excavado, próximo al escorial suroeste, predominaba la escoria de forja. En cualquier caso sería conveniente una labor de limpieza de los escoriales para zonificar en ellos las escorias de forja y las de sangrado.

2. TRABAJOS ARQUEOLÓGICOS (fig. 1)

Siguiendo la línea de investigación de los últimos años, los trabajos arqueológicos se concentraron en la muralla de la ciudad especialmente en la cuestión de la puerta Norte cuya existencia se había confirmado durante la campaña pasada sin que se hubiese podido especificar ni su ubicación exacta ni su forma arquitectónica, si es que era una arquitectura y no una simple apertura en la muralla.

Para aclarar esta cuestión se abrió el corte n° 450 situado entre los anteriores cortes n° 438 y n° 237. En el nivel espejado apareció la muralla, que atraviesa el corte en toda su longitud, por lo cual la puerta tiene que situarse al E del corte n° 450. La muralla tiene la particularidad de una junta que la divide en dos lienzos que son bien diferentes. Mientras que el lienzo O es de buena calidad, consistiendo las dos caras de la muralla de piedras grandes sin labrar puestas de una forma ordenada y técnicamente correcta, el lienzo E sin embargo es todo lo contrario. Aunque las caras de la muralla están formadas por bloques aún mayores, éstos están puestos de manera desigual y con poco cuidado, dejando aperturas entre las piedras, es decir no encajándolas. Además el relleno de los lienzo es completamente diferente. Mientras que en el lienzo O este consiste sobre todo en las habituales piedras pequeñas mezcladas con muy pocos fragmentos de ladrillos, en el lienzo E se observa todo tipo de materiales: desde piedras pequeñas, fragmentos de ladrillos, de un suelo de opus signinum, de revestimiento de pared probablemente procedente de las termas y grandes partes de vasos de cerámica. Aquí, por lo que parece, se utilizó todo tipo de materiales para rellenar el muro, mientras que en el lienzo O los materiales fueron sometidos a un proceso de selección. Monedas encontradas en este lienzo O vuelven a confirmar una fecha flavia para su construcción. El lienzo E sin embargo no se ha podido fechar todavía. Al N de la muralla, es decir fuera del perímetro urbano, se halló un círculo de piedras llenas de cenizas y carbones. Se trata de un hogar que llama la atención por el diámetro grande de 1,80 m. Los restos de carbones permitirán la reconstrucción de la flora muniguense en época romana.



Munigua. Reconstrucción esquematizada del trayecto de la puerta N en la muralla de la ciudad. Proveniencia de la fig. 1: Instituto Arqueológico Alemán de Madrid. Dibujo: Laureano de Frutos.