

ESTUDIO PRELIMINAR DE VASIJAS DE REDUCCIÓN Y CRISOLES INÉDITOS DEL YACIMIENTO CAMPANIFORME DEL CAMINO DE LA YESERA (GETAFE, MADRID)^[1]

PABLO GÓMEZ RAMOS

Departamento de Prehistoria y Arqueología

Resumen

El objetivo de este artículo es dar a conocer un conjunto inédito de vasijas de reducción y crisoles de época campaniforme, así como los análisis efectuados por microscopía electrónica de barrido y un adelanto de los resultados, constatándose la utilización de minerales sulfurados en la obtención de metal de cobre.

Abstract

The objective of this paper is to show an unpublished set of reducing basin and crucibles dated within Bell-Beaker Horizon, their morphological and chemical analysis using SEM facilities and a first approach to the results of the research, having been verified that copper-sulphur ore was smelted to obtain copper.

INTRODUCCIÓN

En los fondos del Instituto Arqueológico Municipal de Madrid se hallaban depositados numerosos fragmentos cerámicos, que aunque muy lavados, fueron correctamente catalogados como material relacionado con labores metalúrgicas. Aunque el monto de crisoles

[1] Este trabajo forma parte del proyecto: "Estudio de la metalurgia antigua de la Comunidad de Madrid" y ha sido realizado gracias a la concesión en 1998 de una Beca Postdoctoral de la Dirección General de Investigación de la Comunidad de Madrid.

Quiero expresar mi agradecimiento a D. Enrique Carrera y D. Salvador Quero que me permitieron el estudio de todos los materiales depositados en el entonces Instituto Arqueológico Municipal de Madrid, así como a Dña. Concepción Blasco, que financió a través de sus proyectos de investigación el coste de los análisis realizados.

y vasijas de reducción de minerales perteneciente a la Prehistoria madrileña es relativamente abundante, destacan sobre todo el de dos yacimientos: el Ventorro, cuya publicación vio la luz hace unos años (Priego y Quero: 1992) y el Camino de la Yesera, con unos materiales inéditos hasta este momento.

La primera noticia que da a conocer este yacimiento informa del hallazgo de una serie de cerámicas, algunas con decoración campaniforme, proveniente de unas prospecciones en un poblado de fondo de cabañas a pocos kilómetros al sur de Madrid (Quero y Priego: 1977) aunque no se menciona el hallazgo de crisoles ni cerámicas relacionadas con el trabajo del metal.

Este lote de piezas viene a completar el inventario cada vez mayor de vasijas empleadas en la reducción de minerales y de la cual Madrid cuenta con varios ejemplos ya estudiados (Gómez Ramos: 1999), como el yacimiento número 4 de Villaviciosa de Odón o el arenero de Soto de Perales del Río. La dinámica de su funcionamiento ha sido explicada por numerosos autores y actualmente contamos con un nutrido número de análisis que cabe incluir dentro del Programa de Arqueometalurgia de la Península Ibérica. Las vasijas-horno, hoy denominadas por los especialistas vasijas de reducción, son vasos de pastas groseras, generalmente sin un tratamiento especial, destinados a la metalización de minerales de cobre. Morfológicamente son piezas de mayor tamaño que el habitual en un crisol y por lo general suelen tener formas muy abiertas. Quizá lo más característico sea la producción que se obtenía en estos hornos y que consistía en nódulos o goterones de metal embebidos en una masa de escoria, minerales a medio reducir y restos de combustible. Para extraer el material aprovechable era necesario romper el vaso, de ahí que generalmente encontremos los restos fragmentados de la pieza original.

Distintos trabajos experimentales han servido para conocer mejor el funcionamiento y desarrollo de la fundición en estas vasijas, demostrando que la reducción de minerales de cobre era una tarea sencilla que podía llevarse a cabo con una simple vasija cerámica, minerales ricos en metal y el flujo de aire proporcionado por una o más toberas dirigidas hacia la carga.

DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS

Los hallazgos cerámicos relacionados con tareas metalúrgicas, en total diez, aparecen todos fragmentados y pertenecen en su mayoría a paredes redondeadas de piezas de formas muy abiertas y sin decoración alguna.

Cuatro de las piezas, números del 1 al 4, aparecen todas con la sigla: ACY/62 18461 (Figura 1).

La descripción morfológica es la siguiente:

Pieza número 1: fragmento de vasija de reducción. Peso: 27.05 gr.

Se trata de un fragmento de galbo de una vasija hemiesférica muy abierta, que presentaba en su cara interna numerosas concreciones de distinta coloración con restos redon-

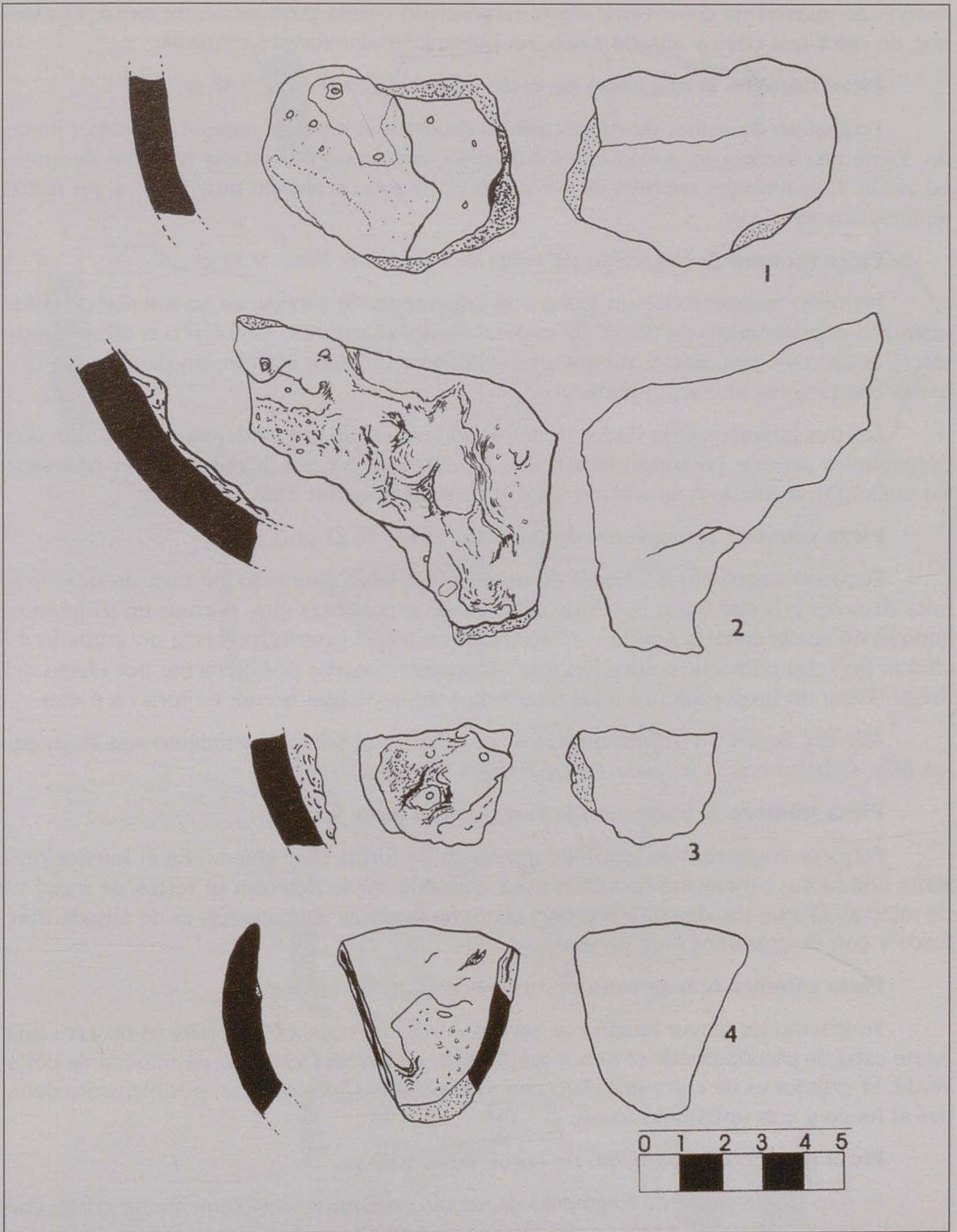


Figura 1. Vasijas núm. 1 a 4 del Camino de la Yesera. Dibujos del autor

deados de mineral de color verde claro, relacionado con la producción de metal. El exterior, de color gris claro y alisado tosco, no presentaba alteraciones térmicas.

Pieza número 2: fragmento de vasija de reducción. Peso: 38.48 gr.

Fragmento de galbo, de características similares al anterior aunque de mayor tamaño. Tiene una fuerte concreción interior de color negro con numerosas vacuolas de mineral verde. El exterior es también de color gris claro con un alisado muy tosco y sin restos de impactos térmicos.

Pieza número 3: fragmento de vasija de reducción. Peso: 9.39 gr.

Pequeño fragmento de un galbo con adherencia de escoria en su interior de color negruzco e igualmente con restos de mineral verde. El exterior, también con alisado muy tosco, es de color gris claro y aunque presenta zonas de color marrón, no parecen relacionadas con ninguna alteración térmica.

Los tres fragmentos de vasijas de reducción tienen un grosor de unos 10-12 mm. con desgrasantes gruesos pudiendo pertenecer los números 2 y 3 a la misma pieza cerámica; sin embargo, su estado fragmentado impide determinarlo con total seguridad.

Pieza número 4: fragmento de un crisol. Peso: 16.27 gr.

Pequeño fragmento del borde de un crisol de labio apuntado. Se trata de una cerámica de color gris claro, con restos de adherencias escoriáceas muy porosas en su interior, aunque no se observan a simple vista restos de metal. El exterior presenta un acabado de alisado fino con partes de coloración más oscura relacionadas posiblemente por efecto del fuego. Tiene un grosor inferior a los fragmentos de las vasijas-horno, en torno a 6 mm.

Además de estos cuatro fragmentos, pertenecen al mismo yacimiento seis fragmentos más, siglados con la leyenda ACY/62 18996 (Figura 2):

Pieza número 5: fragmento de vasija-horno. Peso: 9.46 gr.

Pequeño fragmento de galbo de una vasija de forma muy abierta. En el interior presenta una fuerte concreción oscura, porosa, y donde no se detectan ni restos de metal ni de mineral. El exterior, de color gris muy claro, no presenta alteraciones, es de alisado muy tosco y con desgrasantes muy gruesos.

Pieza número 6: fragmento de vasija-horno. Peso: 44.49 gr.

Fragmento de mayor tamaño de un galbo roto en cuya cara interna se observa una fuerte capa de escoria donde se ven a simple vista numerosas vacuolas de mineral de color verde. El exterior es de color gris claro con algunas zonas más oscuras, posiblemente debidas al fuego y con un alisado tosco.

Pieza número 7: fragmento de crisol. Peso: 9.80 gr.

Se trata de un pequeño fragmento de un vaso cerámico, posiblemente un crisol, con una adherencia oscura de escoria en su interior y no se observaban restos de metal ni mineral incrustados en la escoria. La parte exterior, de color gris claro, presenta un acabado muy tosco con desgrasantes muy gruesos.

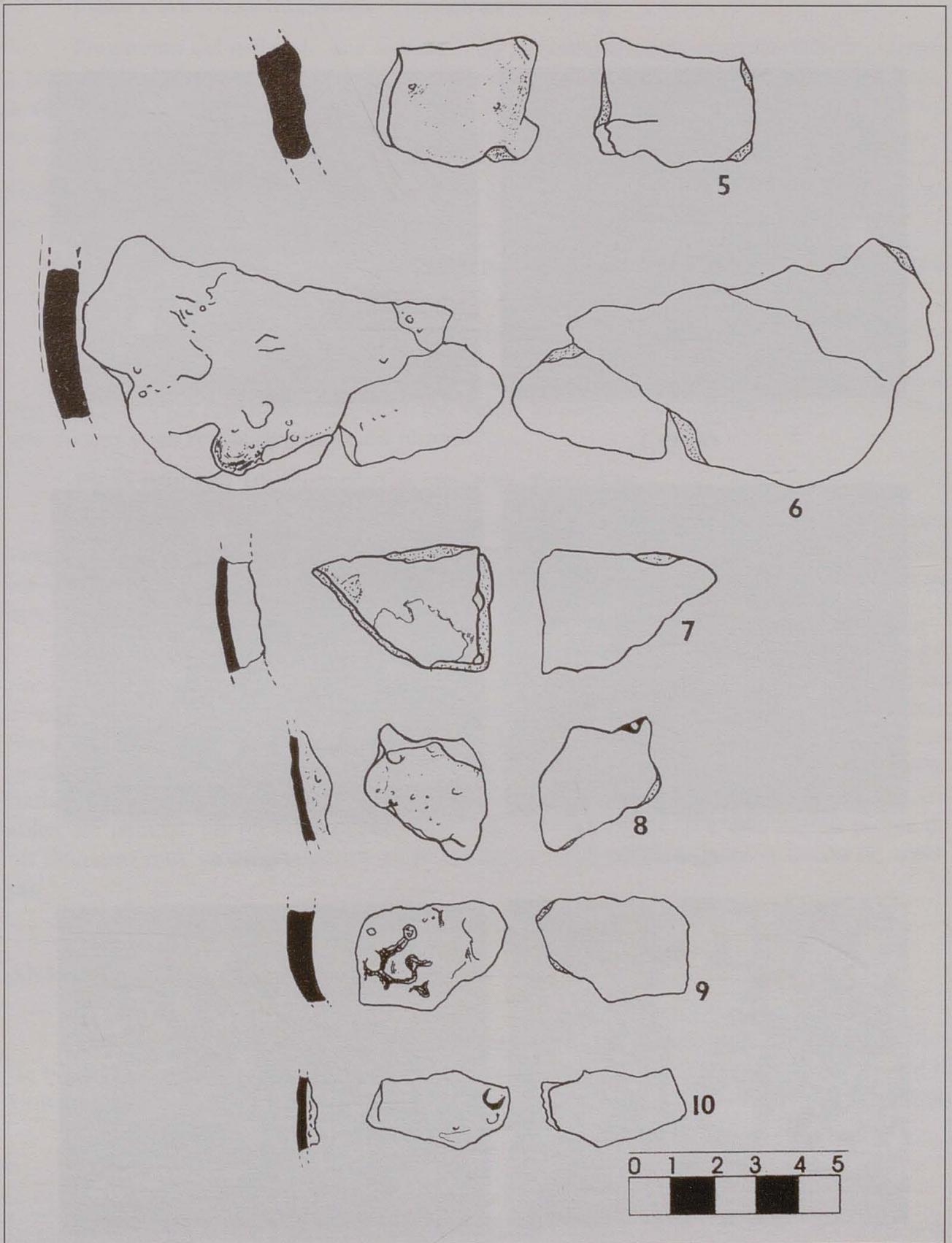


Figura 2. Vasijas núm. 5 a 10 del Camino de la Yesera. Dibujos del autor.

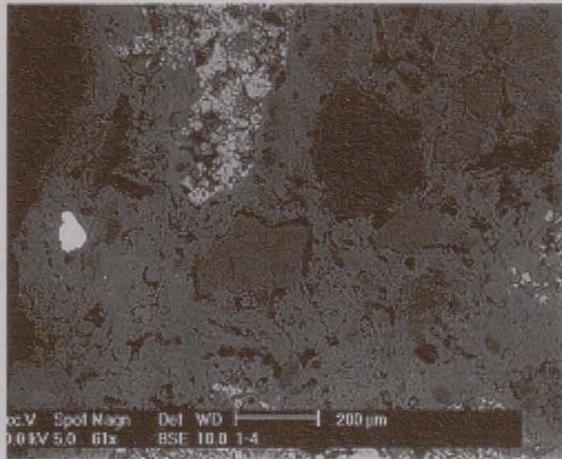


Figura 3

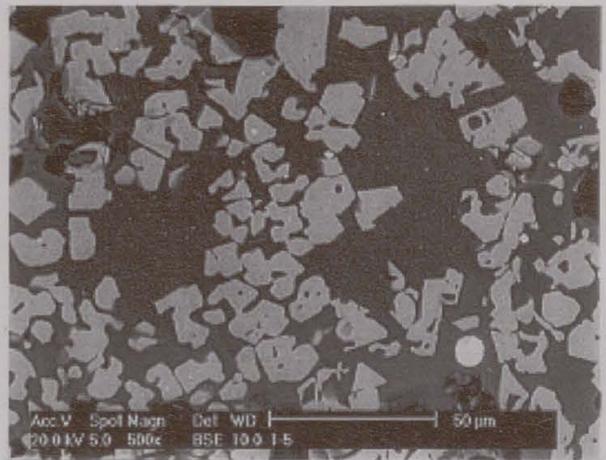


Figura 4

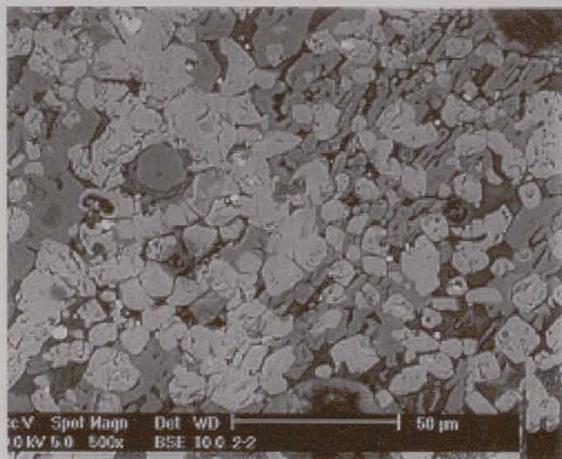


Figura 5

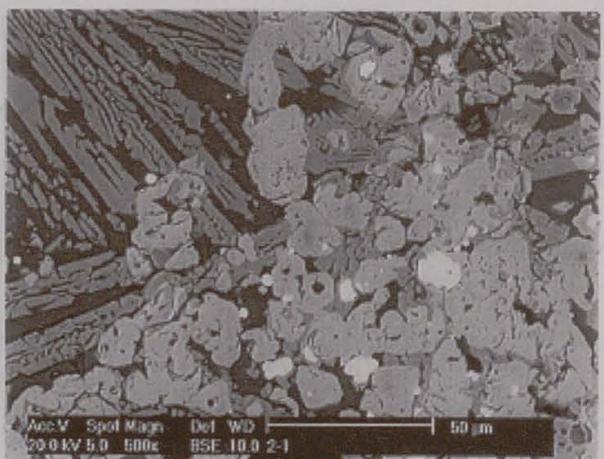


Figura 6

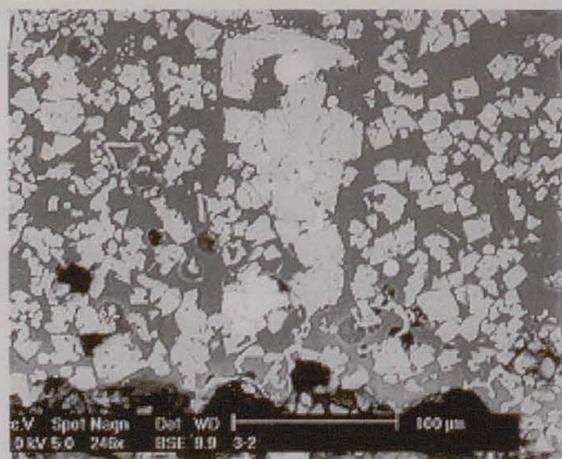


Figura 7

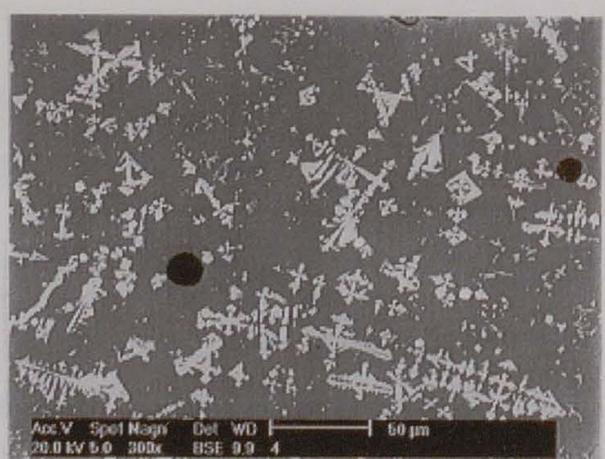


Figura 8

Pieza número 8: fragmento de crisol. Peso: 4.68 gr.

Fragmento del galbo de una cerámica. Su pequeño tamaño, correspondiente además a la parte recta de la pared del vaso impide precisar con seguridad si se trata de una vasija de reducción o del fragmento de un crisol. Es una pieza de pared muy fina que tiene en su interior una gruesa adherencia escoriácea muy porosa. Al igual que las piezas número 5 y 7 de esta serie no se observan restos de mineral ni metal a simple vista. El exterior es de color gris claro, sin huellas de calor, y por su acabado, muy fino, puede identificarse, aunque sin total seguridad, como crisol.

Los fragmentos número 9 y 10 podrían pertenecer a una misma pieza original ya que son muy parecidos.

Pieza número 9: fragmento de un crisol. Peso: 6.41 gr.

Fragmento de galbo con una fuerte concreción de escoria en su interior y donde se ven a simple vista restos de mineralización verde. El exterior, de alisado tosco, es de color gris oscuro y sin restos de alteración térmica.

Pieza número 10: fragmento de un crisol. Peso: 4 gr.

Fragmento de galbo de una pieza muy similar a la anterior. Aunque se trata de una vasija de espesor muy fino en su interior presentaba una gruesa capa de escoria con partes de mineralización verde mientras que el exterior es de color gris oscuro sin restos de huellas térmicas.

El conjunto total queda configurado por 10 fragmentos de distinto tamaño, aunque predominan los pequeños, en todos ellos se observan adherencias de escoria en la cara interna y con la excepción de tres, todos presentaban restos de minerales en su interior. Son todos fragmentos pertenecientes a vasijas hechas a mano, de acabado muy tosco. Las pequeñas dimensiones de los fragmentos hallados hace que muchas veces sea difícil designarlos con total seguridad como pertenecientes a vasijas de reducción de minerales o a crisoles. En general, las piezas que presentan algo de curvatura indica que fueron piezas de un diámetro muy grande, superior al de cualquier crisol utilizado para la fusión de metales.

ANÁLISIS

La técnica empleada en los análisis metalúrgicos ha sido la microscopía electrónica de barrido y se ha llevado a cabo en el Servicio Interdepartamental de Investigación de la Universidad Autónoma de Madrid^[2]. Todas las muestras fueron embutidas en resina, puli-

[2] Equipo manejado por Dña. Esperanza Salvador. El microscopio es un modelo XL 30 de Philips, con fuente de wolframio, detectores de electrones secundarios y retrodispersados, alcanzando un vacío de 3×10^{-6} torr. El análisis químico es por energía dispersiva de rayos X, con detector de Si-Li y analizador DX4i de EDAX.

Tabla 1. Análisis de las adherencias en óxidos (% en peso)

Ana.	Componente	As ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	CaO	MnO	FeO	CuO	P ₂ O ₅	PbO	BaO	SnO ₂
1.1	An. General	5.82	0	1.74	10.64	0	0	0.96	0	0	71.73	9.12	0	0	0
1.2	An. General	0	0	9.30	30.99	1.00	0	2.39	0	27.65	25.85	2.82	0	0	0
2.1	An. General	0	0	9.36	46.13	4.42	0	0.79	0	36.37	2.93	0	0	0	0
3.1	An. General	0	0	7.74	41.41	2.68	0	1.11	0	43.46	1.66	1.94	0	0	0
4.1	An. General	0	0	10.39	36.56	3.37	0	3.66	0	38.29	5.14	2.59	0	0	0
4.2	An. General	0	0	16.99	48.54	5.08	4.21	1.26	0	13.35	5.97	3.14	0	1.46	0
5	An. General	0	1.68	26.85	48.03	4.04	1.28	1.45	0	12.25	2.30	2.39	0	0	0
6.1	An. General	0	1.72	2.10	12.17	0	0	6.40	0	73.81	2.53	1.27	0	0	0
6.2	Vidrio relleno	0	3.96	2.78	38.80	0	0	20.73	0	33.73	0	0	0	0	0
7.1	An. general	1.25	0	21.79	49.31	3.25	1.06	1.82	0.44	13.86	0.63	6.59	0	0	0
7.2	Metal	1.04	0	0.33	0.72	0	0	0.54	0.55	1.76	95.06	0	0	0	0
7.3	Vidrio relleno	2.46	0	8.29	68.99	0	0	2.97	0.18	7.35	9.76	0	0	0	0
7.4	Magnetita	2.73	0	5.07	15.25	0	0	0	0.56	72.79	3.60	0	0	0	0
8	An. General	1.44	0	15.82	68.89	3.87	0	1.73	0	8.25	0	0	0	0	0
9.1	An. General	4.71	0	8.97	43.21	2.87	0	3.72	0.21	11.08	24.35	0	0.56	0	0.32
9.2	Vidrio relleno	6.73	0	10.40	42.43	0	0	0	0.24	10.96	26.60	0	1.10	0	1.63
10.1	An. General	4.43	0	8.48	47.88	3.76	0	4.74	0.13	12.89	15.42	0	0.88	0	1.39
10.2	Vidrio relleno	9.07	0	8.41	39.33	3.11	0	12.12	0.41	20.74	4.26	0	0.76	0	1.79
10.3	Magnetita	1.34	0	1.76	0	0	0	0.27	0	92.73	2.34	0	0.64	0	0.92
10.4	Magnetita	1.80	0	1.93	0	0	0	0.11	0.30	91.90	2.28	0	0.66	0	1.02

Tabla 2. Análisis de las adherencias en elementos (% en peso)

Análisis	Componente	As	Al	Si	P	Ca	Fe	Cu	Pb	S	K	Mn	Sn	Ti
1.3	An. General	7.38	3.28	10.06	7.51	0.79	0	70.89	0	0	0	0	0	0
1.4	An. General	27.33	0	0	0	0	0	72.67	0	0	0	0	0	0
1.5	An. General	0	1.63	29.10	0	0	0	69.27	0	0	0	0	0	0
1.6	Magnetita	0	1.65	1.74	0	0	92.73	3.88	0	0	0	0	0	0
1.7	Magnetita	0	1.00	0.93	0	0	94.29	3.78	0	0	0	0	0	0
1.8	Gota	0	0	0	0	0	3.70	95.97	0.33	0	0	0	0	0
1.9	Gota	0	1.76	4.14	0	0.38	11.59	81.50	0	0	0.62	0	0	0
1.10	Vidrio relleno	0	8.32	48.23	2.33	7.88	13.60	8.53	0	0	10.18	0.92	0	0
1.11	An. General	0	7.22	6.16	1.84	2.92	74.05	7.50	0	0	0.31	0	0	0
2.2	Fayalita	0	0	19.24	0	0	80.76	0	0	0	0	0	0	0
2.3	Vidrio relleno	0	10.84	45.79	1.68	5.68	25.81	0	0	0	10.21	0	0	0
2.4	Gota	7.60	0	3.31	0	0	6.31	71.80	0	10.98	0	0	0	0
2.5	Gota	0	0	0	0	0	6.33	76.48	0	17.20	0	0	0	0
2.6	Gota	0	0	0	0	0	5.90	77.57	0	16.53	0	0	0	0
3.2	Vidrio relleno	0	10.55	53.36	0	4.26	14.27	4.54	0	0	13.03	0	0	0
3.3	Gota	8.62	0	0	0	0	3.20	78.16	0	10.02	0	0	0	0
3.4	Gota	10.39	2.91	5.00	0	0.16	10.22	51.47	0	19.04	0.81	0	0	0
3.5	An. General	0	6.25	22.07	0	1.19	61.70	5.44	0	0	3.35	0	0	0
4.3	Gota	0	0	0	0	0	3.10	96.90	0	0	0	0	0	0
4.4	Gota	0	0	0	0	0	2.67	97.33	0	0	0	0	0	0
4.5	Vidrio relleno	0	13.71	48.20	0	8.62	12.74	7.44	0	0	8.93	0	0	0.36
4.6	Vidrio relleno	0	12.12	50.00	2.14	3.34	13.18	6.00	0	0	13.23	0	0	0
4.7	Gota	0	1.44	4.15	0	0	4.49	89.21	0	0	0.71	0	0	0
6.3	Gota	5.22	0	0	0	0	13.38	81.40	0	0	0	0	0	0
6.4	Gota	4.38	0	0	0	0	4.57	91.05	0	0	0	0	0	0
7.5	Metal	0	0	0	0	0	1.43	98.32	0	0	0	0.25	0	0
7.6	Zona gris	1.25	7.18	35.81	0	1.59	1.88	52.00	0	0	0	0.28	0	0
7.7	Gota	1.32	0.16	0	0	0	0.80	97.45	0	0	0	0.27	0	0
9.3	Gota	1.16	0	0	0	0	0.66	97.68	0.35	0	0	0.16	0	0
9.4	Gota	0.76	0	0	0	0	1.32	97.02	0.89	0	0	0	0	0
10.5	Incl. Metal.	0	0.47	0	0	0	0.61	98.01	0.64	0	0	0.09	0	0
10.6	Incl. Metal.	0	0.32	0	0	0	0.99	95.55	1.86	0	0	0.06	0.65	0
10.7	Incl. Metal.	0	0.36	0	0	0.07	1.04	96.31	1.13	0	0	0	0.38	0

das concienzudamente y recubiertas de oro para hacerlas conductoras en el microscopio electrónico, sin ser necesaria la utilización de reactivos.

Se han realizado más de 60 análisis correspondientes al total de las 10 piezas y los principales resultados analíticos figuran, en forma de óxidos en la Tabla 1 y de elementos en la Tabla 2.

A continuación presentamos la descripción pormenorizada de cada una de las muestras así como las observaciones mineralógicas.

Pieza número 1: los análisis generales practicados a esta vasija de reducción indican el trabajo de minerales de cobre y arsénico, con contenidos de arsénico concentrados principalmente en las vacuolas verdes de mineral que todavía se conservaban adheridas a la concreción de escoria. El análisis general (análisis 1.1, tabla 1) de uno de estos goterones de mineral ha dado como elementos mayoritarios cobre y arsénico, 71.73% y 5.82% respectivamente, con contenidos también de aluminio, silicio, fósforo y calcio. Otros análisis también a una zona general (análisis 1.2, tabla 1), pero sin concentrar el detector en el mineral propiamente dicho, dan resultados similares aunque en este caso con espectros de mayor variedad compositiva y, sin embargo, donde no quedan registrados contenidos de arsénico, que se concentran en áreas muy puntuales. Análisis elementales en la zona de mineral (análisis 1.3, 1.4 y 1.5, tabla 2) también aportan contenidos principales de cobre, arsénico y silicio, variables según sea la zona a analizar. Un resultado sorprendente ha sido la aparición de un sulfuro de mercurio (86% Hg y 13.13% S) de color blanco en la imagen (Figura 3), debido quizá a una contaminación de la tierra y que aparece adherido cerca de una concentración de metal. En una fotografía tomada a 500 aumentos (Figura 4) se ve un campo cubierto de óxidos de hierro, en este caso magnetitas, de color gris claro en la imagen (análisis 1.6 y 1.7, tabla 2) junto con numerosas gotas de cobre de color blanco en la fotografía. Los análisis de dos de estas gotas (análisis 1.8 y 1.9, tabla 2) han proporcionado también trazas de plomo en uno de los casos. También se analizó el vidrio de relleno (análisis 1.10, tabla 2) donde se concentran aluminio, silicio, fósforo, potasio, calcio o magnesio y un análisis general de esta zona (análisis 1.11, tabla 2).

Pieza número 2: el análisis general (análisis 2.1, tabla 1), ha dado una escoria de tipo fayalítico 36.37% FeO, 46.13% SiO₂ y 9.36% de Al₂O₃. Las Figuras 5 y 6 a 500x) recogen un campo preñado de óxidos de hierro en forma de wustita y cristales de fayalita (análisis 2.2, tabla 2) en un vidrio de relleno donde se concentra junto al silicio y al hierro, el aluminio, potasio, calcio y fósforo (análisis 2.3, tabla 2). Aparecen igualmente numerosas gotas de cobre, de color blanco brillante en la imagen, y cuyos análisis han proporcionado elementos de cobre, arsénico, hierro y azufre (análisis 2.4, 2.5 y 2.6, tabla 2) lo que indica la utilización de sulfoarseniuros de cobre.

Pieza número 3: nos encontramos también ante una adherencia de tipo fayalítico, muy similar compositivamente en su analítica general (análisis 3.1, tabla 1) con porcentajes menores de aluminio, potasio, fósforo, calcio y cobre. Análisis puntuales en la pasta de esta pieza han dado unas formulaciones de elementos atípicos como cerio, samario, circonio, lantano o praseodimio, elementos pertenecientes a la cerámica y quizá se deban a una contaminación durante la deposición de estas cerámicas en tierras con elementos radioactivos.

La Figura 7 a 246x, muestra al igual que la vasija anterior, un campo repleto de magnetita, cuyo análisis ha proporcionado hierro al 100%, dentro de un vidrio de relleno (análisis 3.2, tabla 2) y con gotas blancas de metal que presentan junto al cobre, arsénico, hierro y azufre (análisis 3.3 y 3.4, tabla 2). El análisis de toda esta área (análisis 3.5, tabla 2), no recoge los contenidos de arsénico ni de azufre que se concentran en el metal de cobre.

Pieza número 4: un análisis general (análisis general 4.1, tabla 1) da como escoriación un silicato de hierro y aluminio con contenidos menores de cobre, potasio, fósforo y calcio, lo que viene a significar una formulación muy parecida a la vista hasta ahora. A estos elementos hay que añadir otros dos aparecidos en el análisis de otra zona de la misma pieza, que son el titanio y el bario (análisis 4.2, tabla 1). Las Figuras 8 y 9 ofrecen a 300 y 1000 aumentos un vidrio de relleno muy uniforme salpicado por grupos de magnetita cruciforme y gotas redondeadas de cobre (análisis 4.3 y 4.4, tabla 2). Precisamente el análisis del vidrio de relleno (análisis 4.5, tabla 2) señala también restos de titanio. En esta pieza vuelve a aparecer también como elemento extraño el circonio (21.58% Si y 78.42% Zr), perfectamente visible en la Figura 10 en un vidrio de relleno (análisis 4.6, tabla 2) junto con un grupo de óxidos de hierro y gotas de cobre (análisis 4.7, tabla 2).

Pieza número 5: aunque a simple vista no se observaban restos de metal ni de mineral, el análisis general (análisis 5, tabla 1) ha dado prácticamente un silicato de hierro y aluminio en sus proporciones mayores, 48.03% SiO₂, 26.85% Al₂O₃, 12.25 FeO y donde también está presente óxido de cobre con un porcentaje del 2.30%. Se trata de un contenido de cobre muy pequeño, ya que es una pieza muy lavada, y las distintas imágenes realizadas con el microscopio no han permitido observar gotas o nódulos metálicos incrustados en la adherencia.

Pieza número 6: el análisis general (análisis 6.1, tabla 1) de este fragmento da una adherencia de escoria wustítica con un 73.81% FeO, 12.17% SiO₂ y 6.40% CaO, y proporciones menores de magnesio, aluminio, fósforo y cobre. Las Figuras 11, 12 y 13 muestran imágenes donde predominan las formaciones de wustita, que subrayan los altos contenidos de hierro proporcionados por el análisis general, a la vez que se observan inclusiones metálicas de color blanco en las fotografías. Los análisis de estas inclusiones (Figura 14) han dado como resultado gotas de cobre y arsénico (análisis 6.3 y 6.4, tabla 2) con proporción también de hierro debido a que dichas gotas se hallan embebidas dentro de las wustitas, de color gris claro en la imagen, y rodeadas de una matriz silicatada de hierro y calcio (análisis 6.2, tabla 1) de color gris más oscuro. La presencia de gotas de cobre y arsénico demuestra una vez más, el laboreo de cobre arsenicado en esta vasija de reducción.

Pieza número 7: el análisis general (análisis 7.1, tabla 1) practicado a la adherencia de esta pieza da como resultado un silicato de hierro y aluminio con un 49.31% SiO₂, 21.79% Al₂O₃ y 13.86% FeO y viene a confirmar, en cierto modo, los resultados de la muestra anterior, ya que entre sus componentes menores aparece tanto el arsénico como el cobre. La Figura 15 muestra estructuras atípicas de compuestos de cobre aciculares de color gris claro (análisis 7.5, tabla 2) junto con otras zonas de gris más oscuro donde aparecen junto al cobre y al silicio también el arsénico (análisis 7.6, tabla 2). A mayores aumentos (Figura 16) se observan estructuras longitudinales de color claro que son metales de cobre ligeramente arsenicados (análisis 7.2, tabla 1), con un vidrio de relleno de color gris oscu-

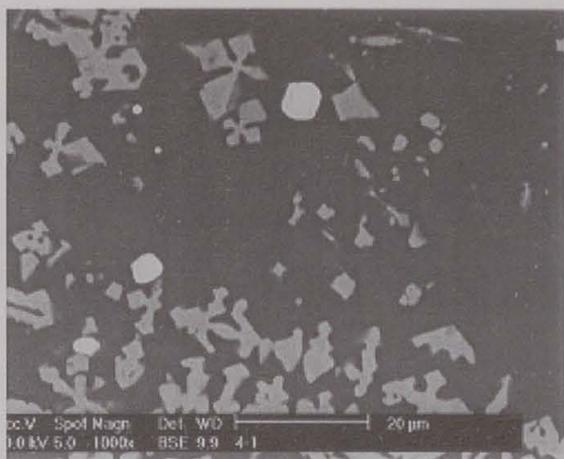


Figura 9



Figura 10

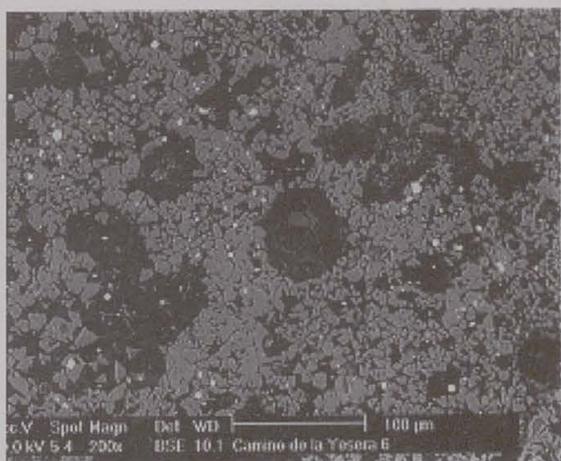


Figura 11

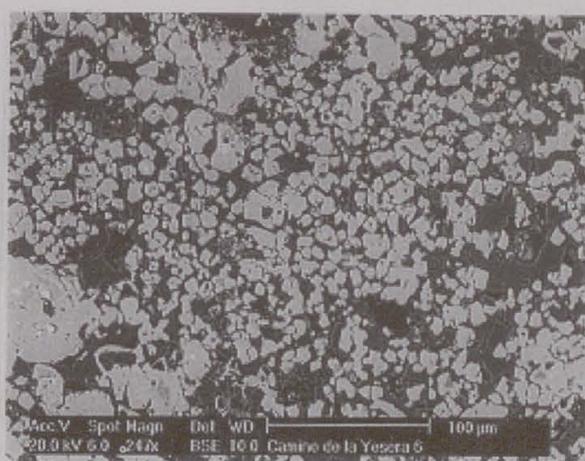


Figura 12

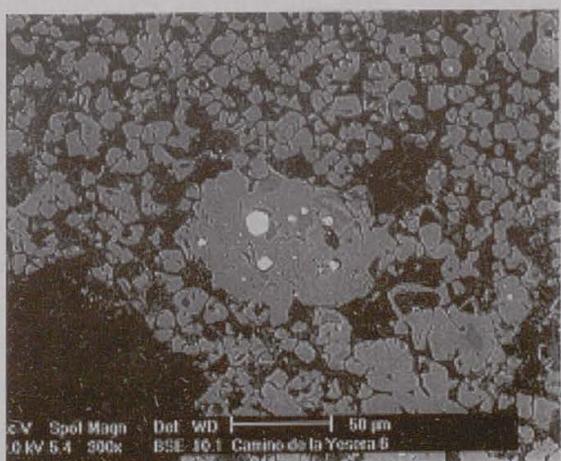


Figura 13

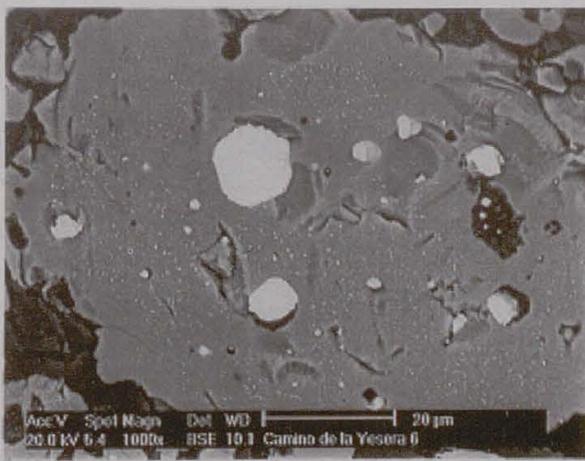


Figura 14

ro compuesto por el conjunto de elementos principales (análisis 7.3, tabla 1), con gotas redondas de cobre arsenicado (análisis 7.7, tabla 2) y esqueletos y cruces de magnetita (análisis 7.4, tabla 1).

Pieza número 8: esta cerámica presentaba una adherencia donde no se apreciaban a simple vista restos de mineral ni de metal. El análisis general (análisis 8, tabla 1) así como la imagen tomada a poco aumentos (Figura 17) muestran una estructura porosa con silicio y aluminio como componentes principales y donde se ha detectado también un pequeño contenido de arsénico. A mayores aumentos no se observan variaciones importantes en la formulación.

Pieza número 9: el análisis general (análisis 9.1, tabla 1) a los restos silicatados adheridos a este crisol, evidencia el caldo de un cobre arsenicado con pequeños porcentajes de estaño y plomo, así como silicio, aluminio, potasio o calcio. En la Figura 18 se observan inclusiones de gotas de cobre arsenicado (análisis 9.3 y 9.4, tabla 2) embebidas en un vidrio gris de relleno donde se concentran también pequeños contenidos de plomo y estaño (análisis 9.2, tabla 1).

Pieza número 10: esta pieza presenta resultados analíticos muy similares al crisol anterior; similitud que se aprecia también en la morfología externa de ambos fragmentos. Compositivamente se trata de nuevo de una adherencia donde junto al silicio aparecen también proporciones importantes de cobre, arsénico, calcio o aluminio así como estaño y plomo (análisis 10.1, tabla 1). En las microfotografías (Figuras 19 y 20) se observa un vidrio de relleno de color gris oscuro (análisis 10.2, tabla 1) compuesto por todos los elementos detectados en el análisis general, además de numerosas inclusiones metálicas de cobre (análisis 10.5, 10.6 y 10.7, tabla 2) y formaciones geométricas de magnetitas (análisis 10.3 y 10.4, tabla 1).

En general, los análisis han evidenciado una saturación de hierro bajo formas de óxidos libres, principalmente wustitas y magnetitas. Eso indica, no tanto la utilización de fundentes de hierro, como que en el interior de la vasija se dieron condiciones poco reductoras, con un aporte excesivo de oxígeno y que concuerda con las formas excesivamente abiertas de estos hornos. Sin embargo, en una vasija se podía reducir mineral y a pocos centímetros sólo fundirse porque no había el suficiente monóxido de carbono, aunque finalmente el proceso podía ser válido. También la aparición de magnetita en los análisis de los crisoles es un hecho lógico ya que señala la oxidación del metal.

Hay que destacar la presencia junto al cobre, del arsénico, plomo, estaño, hierro o azufre que indica la utilización de minerales de cobre no sólo en forma de óxidos o carbonatos sino incluso también de sulfuros. El comportamiento del arsénico, así como del antimonio, es bastante impredecible y se suele perder en los humos formados durante la combustión, pasando parte a las adherencias. Si un mineral lleva arsénico es habitual que pase a la escoria o a la adherencia cerámica aunque únicamente sea a nivel de trazas, apareciendo asociado a las gotas metálicas de cobre. Algo similar ocurre con el hierro, elemento acompañante de las menas de cobre y que forma silicatos de hierro en reacción con los componentes cerámicos. Han aparecido también algunas trazas de estaño y plomo pero en porcentajes muy bajos, que evidencia más que aleaciones exitosas con el cobre, difi-



Figura 15

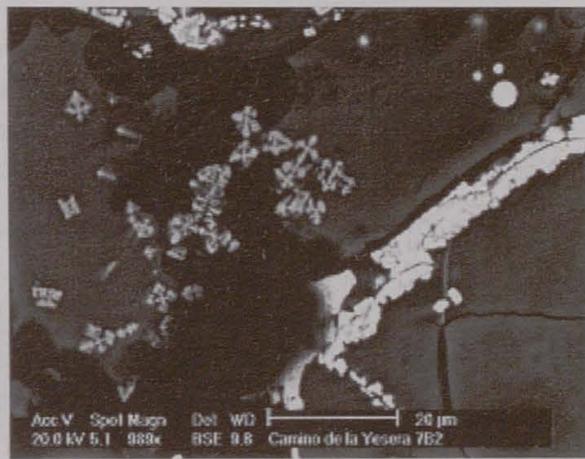


Figura 16

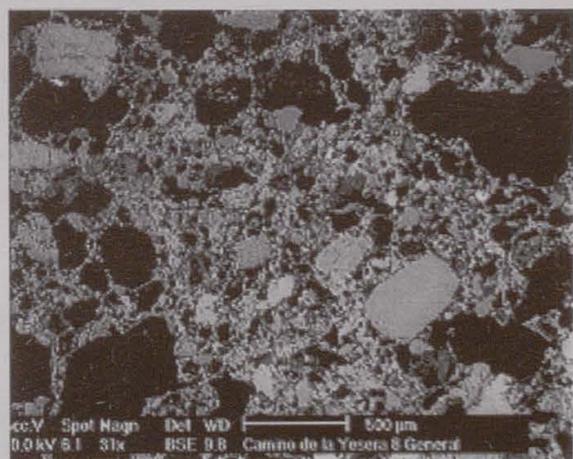


Figura 17

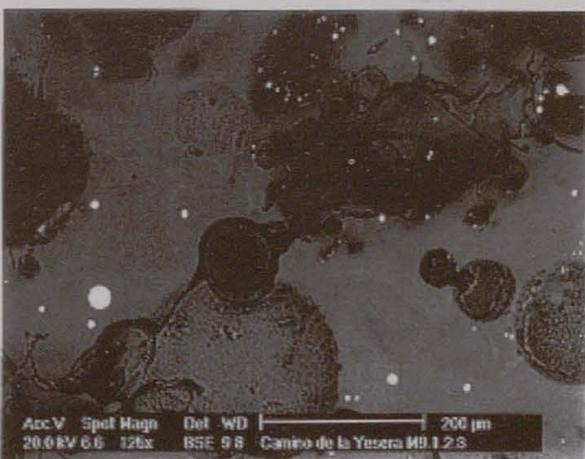


Figura 18

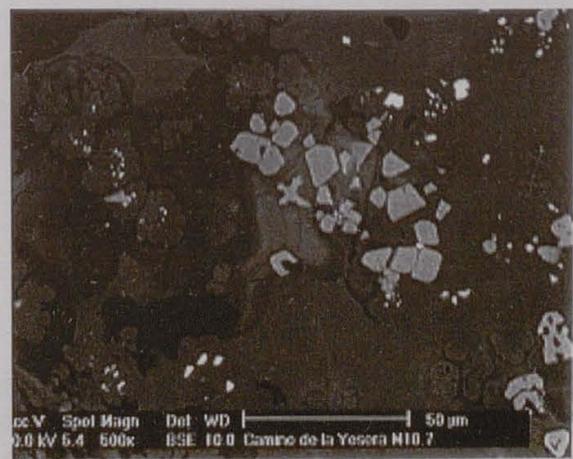


Figura 19

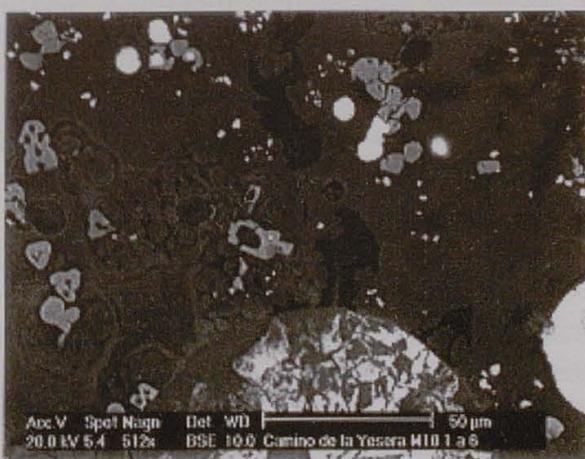


Figura 20

les debido a las condiciones estrictas que requieren las aleaciones de bronce en el horno, el beneficio de minerales de partida con algo de estaño y plomo entre sus componentes.

Ya hemos llamado la atención sobre el hallazgo de elementos poco habituales como titanio o circonio, aunque no es la primera vez que aparecen como se observa por ejemplo, en los análisis de los crisoles campaniformes de Arrabal de Portillo (López Serrano y Martín Costea: 1986, 70) o en crisoles de otras zonas europeas y que se interpretan por influencia del material proveniente de la cerámica (Fasnacht: 1989, 13).

Pero quizá lo más interesante de los análisis ha sido la constatación de azufre en dos muestras, que indican el posible uso de minerales sulfurados de cobre y arsénico, muy comunes en las mineralizaciones de la sierra norte de Madrid. En contextos arqueológicos es conocida la arsenopirita hallada en la cabaña 21 del yacimiento campaniforme de El Ventorro o una calcopirita arsenicada en Almizaraque, que no habían sido relacionadas de forma directa con la obtención de cobre (Gómez Ramos: 1999, 75). Sin embargo, habría que reconsiderar, que aunque no fuera una práctica habitual, también fue posible el uso de sulfuros, máxime cuando éstos forman asociación con óxidos y carbonatos de cobre en las mismas vetas minerales. El proceso previo de tostación de los sulfuros, necesarios para su reducción se realiza en hornos oxidantes muy ventilados, condiciones que cumplen sobradamente las vasijas de reducción, donde no existe un control estricto de las condiciones reductoras. Es posible una cadena de reacciones conjunta y próxima dentro de estos vasos que permitiera la reducción suficiente de mineral como para convertir en exitoso el proceso de obtención de metal.

CONCLUSIONES

Los resultados analíticos practicados a las vasijas del Camino de la Yesera concuerdan en gran medida con otros llevados a cabo en cerámicas antiguas tanto de Madrid como de otras regiones peninsulares y extrapeninsulares (Gómez Ramos: 1996 y 1999). Desgraciadamente son materiales fortuitos procedentes de prospecciones, que no aparecieron asociados a elementos metálicos, siendo difícil precisar cronologías debido a la perduración del fenómeno campaniforme pasada la barrera del Calcolítico.

Según los análisis de las adherencias se observa la obtención de cobres arsenicados siguiendo las pautas ya conocidas durante el Calcolítico y Bronce Antiguo. A tenor de los componentes hallados se debieron utilizar minerales polimetálicos donde el cobre se ve acompañado de arsénico, plomo, estaño, azufre, etc. dentro de una gran variedad compositiva como es la que predomina en los veneros de la sierra madrileña (Rovira y Montero: 1994). Al parecer, los metalúrgicos de esta época emplearon aparte de minerales de cobre carbonatados, tipo malaquitas, también sulfuros de cobre como calcosinas, calcopiritas... o sulfuros de arsénico como arsenopiritas. Durante mucho tiempo se ha discutido la utilidad o no de los sulfuros en los períodos más antiguos considerándose como pocos aptos debido al proceso previo de tostación que dichos minerales requieren, si bien, algunos trabajos experimentales (Bohne: 1968; Zwicker *et al.*: 1985) parecen evidenciar un posible beneficio de minerales sulfúricos más fácil de lo que la teoría química podría suponer aunque

la aparición de calcopirita en estos momentos puede deberse también en algún caso a enriquecimientos provenientes del medio ambiente donde estuvieron depositados (Fasnacht: 1989, 13).

Sin embargo no es la primera vez que se registra la utilización de sulfuros de cobre en la metalurgia calcolítica. Podemos citar entre otros, ejemplos de reducción de sulfuros en vasijas pertenecientes a la cultura balcánica de Gumelnitsa (Ryndina: 1999), en el Neolítico suizo (Maggetti *et al.*: 1991) o en el caso de la Península Ibérica, en los poblados de Los Millares y el Malagón (Keesmann *et al.*: 1991-92). También los análisis de unas vasijas del yacimiento campaniforme de Arenero Soto de Perales del Río en Getafe, señalaron formaciones de mineral en forma de sulfuros, en este caso de plomo (Gómez Ramos: 1999, 72-73). Habrá que aumentar el número de muestras con medios precisos de análisis así como los trabajos experimentales para confirmar estos hallazgos y ver el alcance del uso de sulfuros en la metalurgia del cobre durante el Calcolítico y la Edad del Bronce.

BIBLIOGRAFÍA

- BOHNE, C. 1968: "On the working of copper ores in the Bronze Age. Mel-ting experiments with copper pyrites", *Archaeologica Austriaca*, 44: 49-60.
- FASNACHT, W. 1989: "Les premiers creusets de la Civilisation de Horgen trouvés en Suisse", *Antiquités Nationales*, 21: 11-13.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1996: "Hornos de reducción de cobre y bronce en la Pre y Protohistoria de la Península Ibérica", *Trabajos de Prehistoria*. Vol. 53, 1: 127-143.
- GÓMEZ RAMOS, P. 1999: *Obtención de metales en la Prehistoria de la Península Ibérica*, BAR International Series 753, Oxford.
- KEESMANN, I., MORENO, A. y KRONZ, A. 1991-92: "Investigaciones científicas de la metalurgia de El Malagón y Los Millares, en el sureste de España", *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 16-17, 247-302.
- LÓPEZ SERRANO, V. y MARTÍN COSTEA A. 1986: "Análisis de materiales arqueológicos". En J. Fernández Manzano y Manuel Rojo: "Notas sobre el yacimiento campaniforme de Arrabal de Portillo (Valladolid)", *Noticiario Arqueológico Hispánico*, 27: 70-74.
- MAGGETTI, M., BAUMGARTNER, D. y GALETTI, G. 1991: "Mineralogical and chemical studies on Swiss Neolithic crucibles". En E. Pernicka y G. Wagner (eds.): *International Symposium on Archaeometry*, Heidelberg 2-6 abril 1990, *Archaeometry*'90: 95-104.

- PRIEGO, C. y QUERO, S. 1977: "El campaniforme en el valle del Manzanares (Madrid), XIV Congreso Nacional de Arqueología, Tomo I, Vitoria 1975, Zaragoza: 267-272.
- PRIEGO, C. y QUERO, S. 1992: *El Ventorro, un poblado prehistórico de los albores de la metalurgia*, Estudios de Prehistoria y Arqueología madrileñas, 8.
- ROVIRA, S. y MONTERO, I. 1994: "Metalurgia campaniforme y de la Edad del Bronce en la comunidad de Madrid". En C. Blasco (ed.): *El horizonte campaniforme de la región de Madrid en el centenario de Ciempozuelos*, Universidad Autónoma de Madrid: 137-171.
- RYNDINA, N. 1999: "Copper production from polymetallic sulphide ores in the northeastern Balkan Eneolithic Culture", *Journal of Archeological Science*, 26: 1059-1068.
- ZWICKER, U., GREINER, H., HOFMANN, K. H. y REITHINGER, M. 1985: "S-m-el-t-ing, refining and alloying of copper and copper alloys in crucible furnaces during Prehistoric up to Roman times". En P. T. Craddock y M. J. Hughes (eds.): *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*. British Museum Occasional Paper 48: 103-115.