
**INTERPRETACIÓN INICIAL DE UNOS RESTOS
DE HORNOS HALLADOS EN EL ENTORNO DE
"LOS JERÓNIMOS" (BALSICAS, MURCIA)**

A. Madroñero de la Cal

R. Arana Castillo

A. González Blanco

A. Guerrero Fuster

ENTREGADO; 1988

INTERPRETACIÓN INICIAL DE UNOS RESTOS DE HORNOS HALLADOS EN EL ENTORNO DE "LOS JERÓNIMOS" (BALSICAS, MURCIA)

A. MADROÑERO DE LA CAL, R. ARANA CASTILLO, A. GONZÁLEZ BLANCO, A. GUERRERO FUSTER

I.- EL PRIMER CONTACTO CON EL TEMA

En primavera de 1982, uno de nosotros, A. Guerrero planteó el tema de la identidad de unos posibles hornos o moldes que aparecían en el entorno de su casa de campo en Los Jerónimos (Balsicas, Murcia) que, según decían algunas personas de allí parecían responder a la tradición de que en tiempos habían servido para fabricar ruedas de carro (figs. 1-4).

Decidimos tratar de averiguar la base material que servía de soporte a tal tradición que a juzgar por los datos con que se contaba, más bien parecía cosa legendaria y en unión con los Dres. P. A. Lillo Carpio y A. Yelo Templado fuimos un día a comprobar la identidad de aquellos restos. Descubrimos uno de ellos que resultó ser un horno construido por el doble procedimiento de excavación en el suelo y luego construcción de una pared acampanada y circular con chimenea en la parte alta del centro de la construcción y boca del horno en la orientación Oeste de la estructura. Desde la boca al centro del círculo que formaba la base del horno había una especie de muescas (tres en concreto) que parecían servir para facilitar la combustión. El horno estaba completamente vacío y no sabiendo qué hacer decidimos dejar que el tema madurase por su propio peso.(fig. 4, punto 1 y fig.5)

II.- EL PRIMER MATERIAL

Casualmente el mismo A. Guerrero, siempre ojo avizor para recoger más datos en el problema ya planteado de la

identidad de aquellos enigmáticos restos, en 1983 encontró casualmente, en el punto que en el plano de la fig. 4 representamos con la letra B, una piedra-escoria de forma de sector circular de unos 10 cms de altura o grosor y un radio de unos 20 cms que precisamente por su forma regular y por hacer juego con la estructura del horno limpiado anteriormente, juzgó de probable interés, recogió y comenzó así el estudio más concreto del tema que nos ocupa.

Partimos la piedra-escoria y entregamos un fragmento al Prof. R. Arana, catedrático de Geología de la Universidad de Murcia y otro fragmento el Dr. A. Madroñero de la Cal para que trataran de averiguar lo que se pudiera a partir de un ejemplar tan curioso y por entonces tan poco definido. Era materia muy densa y pesada, de apariencia metálica y desde luego no era escoria en el sentido usual de la palabra, sino que parecía más bien pasta elaborada y fundida cuidadosamente y en estado de proceso no acabado. Del resultado de estos análisis se hablará más tarde.

III.- NUEVOS HORNOS

Es en 1985 cuando de nuevo A. Guerrero y con ocasión de unos acuerdos con los propietarios de las parcelas colindantes lleva a cabo unos trabajos para ampliar la parte cercada de su finca con la parcela situada inmediatamente al E. de la misma.

Al tratar de allanar el terreno con un rotovator encuentra restos de dos nuevos hornos (puntos 2 y 3 del plano de la

fig.4). En cuanto se da cuenta de la existencia de materias calcinadas interrumpe los trabajos en los puntos indicados y el hallazgo nos lleva a intentar averiguar lo que se pudiese acerca de los nuevos hallazgos, ya levantados por la primera pasada de la máquina, cuyas rejas habían dejado su marca impresa en niveles inferiores a la capa de cenizas, según pudimos comprobar al limpiar éstas.

Resultó difícil formarnos una idea clara del horno (punto 2 del plano de la fig. 4) es imposible averiguar nada del segundo horno (punto 3). En efecto, al haber sido levantado por la máquina lo más que conseguimos fue captar la forma de su planta y no con plena seguridad. La forma era del tipo de la fig.14. Parecía haber tenido unas dimensiones de 1'50 m. de ancho por 2'50 de largo en línea de máxima y de 1 m de ancho por 1'50 de largo en línea de mínima.

IV.- EL VERTEDERO

Entre la masa informe de materiales que habían constituido la estructura del horno había unos fragmentos de carbón que recogimos para intentar averiguar por medio de ellos y mediante el procedimiento del C-14 la datación de los hornos, unos fragmentos de vidrio de los que luego hablaremos y siguiendo una zona que presentaba aspecto cenizoso pudimos comprobar que había una relación entre el horno y otra zona en la que las cenizas se espesaban mucho más y en la que conseguimos recoger la práctica totalidad de los materiales cerámicos que aparecieron. Eran fragmentos de cerámica árabe y otros de cerámica vidriada de difícil identificación.

No se pudo recoger mucho porque resultó que lo que probablemente es el vertedero no estaba allí. Posiblemente esté situado en la zona del camino (punto A del plano de la figura 4). Y ni lo pretendimos ya que nuestro intento en aquel momento fue continuar recogiendo los restos fortuitamente descubiertos al compás de su aparición y destrucción inconsciente e involuntaria. El probable "vertedero" se manifestó como de gran interés y allí quedó para su estudio cuando convenga, y se planifique una excavación en serio con los medios adecuados.

V.- ULTERIORES PERSPECTIVAS DEL YACIMIENTO

El mismo A. Guerrero en el invierno de 1985-1986 al ampliar la cerca de su finca por el lado NO pudo comprobar la existencia de unos importantes niveles arqueológicos en la parte del camino, y sin duda en relación con unas estructuras

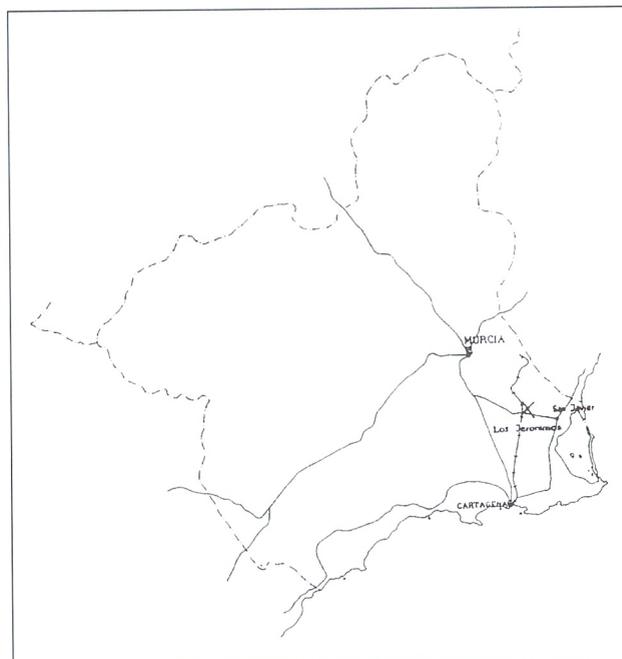


Figura 1: Asentamiento de los Jerónimos en Murcia.

de construcción que aparecen en el nivel del mismo camino en forma de muros de considerable grosor uno y menos grueso el segundo. Se pudo recoger un instrumento, una especie de azada de pequeñas dimensiones del tipo de las que empleaban nuestros campesinos para quitar las hierbas de los sembrados antes de que existieran los insecticidas.

VI.- LOS ANÁLISIS

VI.1.- El contexto

Los restos recogidos del yacimiento que estamos estudiando son fundamentalmente la cerámica (árabe) y el vidrio, cuyas materias básicas son sílice (que no existe apenas en el entorno de los hornos), cal (que abunda por doquier) y sosa sódica. El hierro, según el tratamiento habitual que se suele dar a estos problemas históricos del vidrio, sólo puede jugar el papel secundario de un colorante.

La producción de vidrio está localizada en España durante la época romana en el valle del Guadalquivir y en época medieval en Cataluña y Valencia. En época árabe se producen vidrios morunos, más conocidos por su fino trabajo que por su calidad técnica en Murcia, Alicante y Aragón. Esta localización en la zona murciana se debe a la producción de sosa a partir de una serie de plantas denominadas "barrilla" (Salsola, Salicornia, Atriplex, etc) que tanto abundaba por esta zona. En época romana la sosa se importaba de Egipto

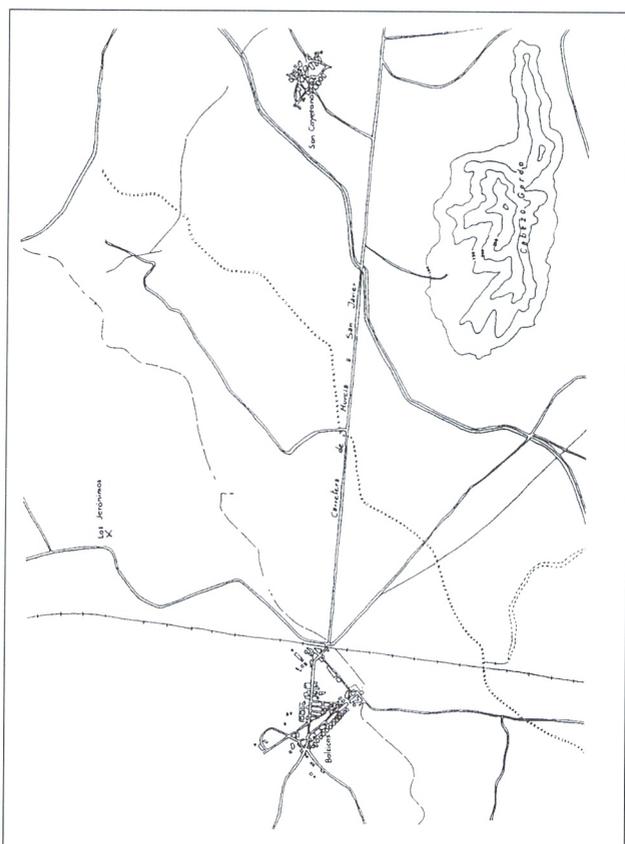


Figura 2: Los Jerónimos y el Cabezo Gordo.

(valle de Wadi Natrum), donde el clima desértico permite la existencia del natrón, $\text{CO}_3\text{Na}_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, sin descomponerse.

La producción de sosa con destino a la fabricación del vidrio está documentalmente descrita en el siglo XVIII por un inglés que venía a esta zona para importar este producto. En efecto, en 1754 James Howell escribe en *Epistolae Ho-Eliae: familiar letters domestic and Foreign*, London 1754, 11th edition, el siguiente párrafo:

“Yo ahora vengo de Alicante, y fui a España para conseguir el producto llamado Barrilla, para Sir Robert Mansel, para fabricar vidrio transparente... Esta barrilla es una extraña clase de vegetal y no hay lugar en el mundo donde crezca con la perfección que se da aquí... Crece como un arbusto grueso y redondeado de aspecto terroso, que apenas si levanta del suelo, del que cuelgan frutos similares a los arándanos, de color entre gris y verde. Cuando madura lo arrancan de raíz, lo apilan en montones y lo dejan secar como al heno durante muchos días. Después hacen una fosa en el suelo de una brazada de profundidad, y con una especie de horcas colocan las plantas sobre la fosa, prendiéndoles fuego. Cuando el fuego alcanza los frutos, se deshacen, dando un licor azul

claro, que va cayendo a la fosa. Repitiendo la operación llegan a llenar la fosa que queda embalsando el licor de barrillas. Unos días después, destapan la fosa y extraen la Piedra Azul, dura, muy poco maleable, y la venden a cien coronas por tonelada”.

Está claro que a pie de horno tienen sosa, cal viva y una variedad de cuarzo ligada a los yacimientos de hierro, como luego veremos. Tenemos, pues, una industria del vidrio o de esmaltes cerámicos perfectamente explicable. Pero los yacimientos de hierro nos van a interferir en este esquema cartesiano de vidrio y cerámica; entre las muestras recogidas hay un clavo de hierro de técnica prerromana, hay grandes piezas de silicato de hierro (fayalita) fabricadas ex profeso, que nos ofrecen, quizás, la posibilidad de estudiar por vez primera un nexo entre vidrio y hierro antiguos, tema apenas estudiado hasta ahora.

Tenemos la gran ventaja de que todos los restos que aparecen son pequeños pedazos, que pueden ser estudiados hasta su destrucción dado su nulo valor museístico, lo que nos permite hacer estudios físico-químicos sin limitación por el respeto a las piezas y al interés por su conservación. Tenemos el inconveniente del alto grado de deterioro de las partes del yacimiento hasta ahora consideradas, como ya ha quedado indicado, y de nuestro desconocimiento de la entraña del mismo por no haberse realizado aún una excavación sistemática del mismo. Intentaremos por tanto enfocar nuestro trabajo como un estudio de prospección. La principal dificultad va a radicar en que tenemos ante los ojos elementos de cronología aparente muy dispar: así, por ejemplo, en el horno n.2, junto a restos de madera quemada, que el examen del C-14 sitúa, con la duda que tal tipo de análisis ofrece cuando se hace de una sola muestra y con dificultades y problemas de su recogida, hacia el 1.600 d.C., aparecen cerámica árabe y clavos de técnica muy antigua.

Vamos a intentar poner orden en nuestra exposición, tratando primeramente de los minerales existentes en el Cabezo Gordo, luego de los materiales pertenecientes a la estructura del horno n.1 o relacionados con su contexto, a seguido, de la piedra-escoria en forma de sector circular hallada en el punto B del plano de la figura 3 y finalmente de los materiales del horno n. 2.

VI.2.- Recursos minerales del Cabezo Gordo

En el plano de la fig. 2 puede verse el mapa de la ubicación del Cabezo Gordo y captarse la íntima relación que necesariamente tuvo que haber entre los minerales del cerro

Contenido en % (determinación cualitativa)											
Muestra	Fe	Si	Ag	Cu	Pb	Zn	Sn	K	Ca base	Na	Al
31	~5	~1	-	-	-	-	-	-	base	-	~3
32	-	0,1	-	-	-	-	-	-	base	-	-
33	-	0,1	-	-	-	-	-	-	base	-	-
34	mucho	base	-	-	-	-	-	1	1	0,5	-
35	base	1	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-

Cuadro N° 1.

y cualquier tipo de industria con ellos relacionada que se desarrollara en el paraje de Los Jerónimos.

Las laderas del Cabezo, bastante escarpadas, en la actualidad se explotan para la obtención de materiales de construcción y muy en concreto grava y arena. En las laderas aparecen toda una serie de bocaminas, recuerdo de las explotaciones de hierro que se realizaron en el cabezo hasta entrado nuestro siglo veinte. A fin de proceder a su cuidadoso análisis, tomemos como muestras representativas de diversas especies mineralógicas que hallamos en el cerro y que denominaremos del siguiente modo:

Muestra 31: Es el mineral más abundante. Se emplea para la obtención de las gravas.

Muestra 32: Mineral de aspecto similar al mármol.

Muestra 33: Muestra blanco transparente cristalizada en forma de prisma (semejante al cristal de roca).

Muestra 34: Mineral de aspecto micáceo.

Muestra 35: Mena de hierro, tomada de una galería de mina. El análisis por espectrometría de emisión de dichas muestras arrojó como resultado los datos del cuadro 1.

Una vez conseguida una idea de la composición elemental, pasamos a estudiar las muestras mediante difracción de Rayos X en muestra pulverizada en un difractómetro, utilizando radiación CuK. Los resultados fueron:

Muestra 31. En el difractograma aparecen mezcladas prácticamente todas las especies mineralógicas que se manifiestan en el resto de las muestras.

Exactamente el análisis arrojó:

Fórmula del compuesto	Hanawalt	Contenido %
$\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	(3-0649)	60
CO_3Ca (Aragonito)	(5-0453)	25
$\text{SO}_4\text{Fe} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	(1-0255)	10
Inidentificables		5

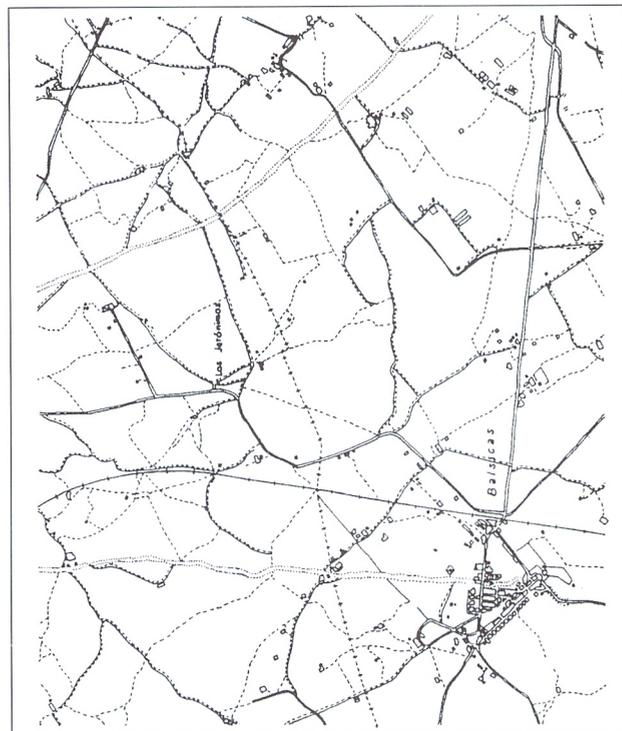


Figura 3: El yacimiento de Los Jerónimos y Balsicas.

Es simplemente un silicato complejo de las especies mineralógicas particulares. Su única aplicación es la actual: obtención de gravas y arenas para la construcción.

Muestras 32 y 33. Sale en ambas muestras el difractograma correspondiente a la ficha (5-0586) del fichero Hanawalt. No hay ninguna otra línea asignable a ningún otro compuesto. Ambas muestras están constituidas, en consecuencia, por carbonato cálcico (CO_3Ca) con un nivel de impurezas inferior al detectable por difracción de Rayos X.

La muestra 33 resulta ser, a tenor del grado de pureza que supone presentarse como calcita cristalizada, una materia prima excepcional para fabricar vidrio transparente. Desgraciadamente en el Cabezo Gordo, dada su composición básica, no puede encontrarse cuarzo puro, el elemento básico para el vidrio.

Muestra 34. La muestra resulta contener un 70% de mica, $\text{NaAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, ficha Hanawalt (12-0187) y un 30% de sulfato básico de hierro pentahidratado $\text{Fe}(\text{OH})\text{SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Se trata, por su riqueza en mica de un mineral muy adecuado para los revestimientos interiores de los hornos de vidrio, para crisoles para el vidrio etc.

Muestra 35. La muestra resulta ser magnetita Fe_3O_4 (ficha Hanawalt (11-614)) con un nivel de impurezas inferior al detectable por difracción de Rayos X.

Contenido aproximativo en %							
Muestra	Fe	Si	Ca	Na	Pb	Al	K
1	~ 1	~ 0,5	base	~ 0,2	–	~ 2	
2	~ 3	~ 4	mucho	~ 2	–	~ 2	–
3	~ 1	~ 3	mucho	~ 0,5	~ 0,1	~ 2	–
4	mucho	mucho	1	–	1	3	
5	~ 5	~ 5	mucho	~ 1	0.1	~ 3	< 0,3

Cuadro N° 2.

En consecuencia podemos decir que el cerro es una base de aprovisionamiento de:

- 1) calcita purísima para fabricar una cal viva de primera calidad.
- 2) refractarios para la industria del vidrio
- 3) mena de hierro

VI.3.- Estudio de los materiales encontrados y de la posible estructura del horno 1.

Es un horno de solera, de un diámetro de 1'80 ms. aproximadamente, de poca profundidad. Ya ha quedado indicado más arriba que no había restos de obra en el suelo, pero sí una estructura acampanada construida con material calizo. Su aspecto aparece en la fig. 6. Tal como aparece en la figura citada presentaba unas muescas en el suelo desde la boca al centro del círculo, que posiblemente han servido para avivar la llama, pero más probablemente son y sirvieron para apoyar la estructura de cobertura del horno, cobertura que sería interesante poder determinar.

Apareció vacío, como ha quedado indicado, pero entre los materiales recogidos en la excavación, al parecer procedentes del hundimiento del horno o de los escombros que lo acabaron rellenando, recogimos para nuestro análisis cinco muestras que presentamos aquí:

Muestra 1: Tiene el aspecto de un canto rodado de río. Pesa unos cuatro kilos y desde luego ha sido traído de lejos. Su presencia allí no parece explicarse como material de construcción ya que sería más fácil emplear piedra calcárea que abunda en el entorno y es mucho más fácil de trabajar.

Muestra 2: Tiene todo el aspecto de una frita de color negro.

Muestra 3: Tiene todo el aspecto de cal viva pulverizada y echada como una capa sobre la solera, aunque lo normal es que se haya hidrolizado (cal muerta) o incluso carbonatado.

Muestra 4: Se trata de un pequeño pedazo de escoria negra.

Muestra 5: Torta de material pulverulento de aspecto calcáreo.

Vamos a proceder a la exposición de los resultados de los análisis físico-químicos efectuados con estas muestras. Los análisis por espectrografía de emisión, con registro fotográfico (análisis semicuantitativo), dan como resultado los datos del cuadro 2.

Veamos ahora los resultados de los análisis de las mismas muestras, efectuados mediante la difracción de Rayos X:

Muestra n° 1: El difractograma indica que la totalidad del material tiene un alto grado de cristalinidad. No es material fundido por tanto. La interpretación del difractograma da:

Fórmula del compuesto	ficha Hanawalt	contenido %
CaCO ₃ (calcita)	(5-0586)	91
α-SiO ₂ (cuarzo α)	(5-0490)	9

Es decir, se trata de calcita con un 9% de cuarzo. En la fig. 7a puede verse la microestructura de esta muestra. En un fondo de calcita, se marcan los granos de sílice, algo azulados. En la intercava de ambas fases se produce una tinción verdosa, posiblemente un depósito ferroso que no aparece en la difracción.

Muestra n° 2: El resultado del análisis por difracción es:

Fórmula del compuesto	ficha Hanawalt	contenido %
CaCO ₃ (hexagonal)	(5-0586)	80
α-SiO ₂	(5-0490)	16
CaCO ₃ (rómbico)	(24-0025)	4

Está claro que es una muestra parecida a la anterior, como puede comprobarse en la fig. 7b. Ya hay ataque por fuego, si bien no se alcanzó una temperatura muy alta (el cuarzo conserva la estructura α); el contenido en hierro que el análisis espectrométrico anunciaba algo superior al de la muestra 1 se justifica como soluto de aragonito (calcita rómbica) que no había en la muestra 1. En efecto en la micrografía de la fig. 9b la fase verdosa forma ya granos completos.

No se trata de una verdadera frita, sino de una muestra fogueada de calcita que ennegreció por su permanencia entre cenizas, durante siglos.

Muestra n° 3: El resultado del análisis por difracción de Rayos X es:

Fórmula del compuesto	ficha Hanawalt	contenido %
Ca CO ₃ (hexagonal)	(5-0586)	90
Ca C) ₃ (rómbico)	(24-0025)	10

Es decir, estamos ante una muestra como la anterior pero con más aragonito (fase verdosa de la fig. 7b). En efecto, en la fig. 7c se muestra la microestructura de la muestra n.3. Se trata,

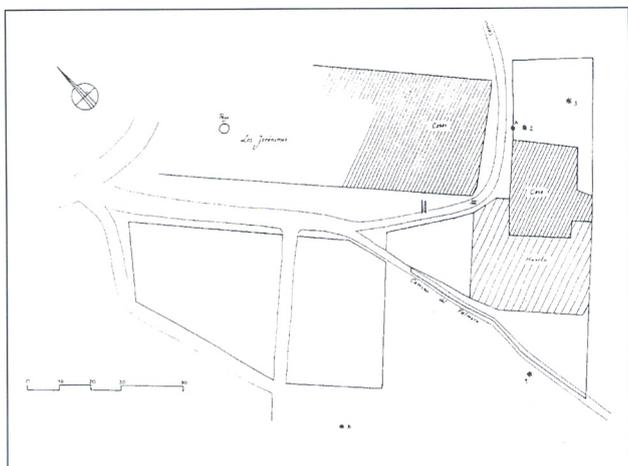


Figura 4: Plano del yacimiento de Los Jerónimos.

pues, de otra muestra de calcita preparada para la calcinación.

Muestra n.4 : El resultado del análisis por difracción es enormemente interesante. Resulta ser un 100 % de fayalita o silicato de hierro $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ (ficha Hanawalt (20-1139)). Merece la pena que nos detengamos a comentar su significación. En la naturaleza existe como tal este silicato de hierro, recibiendo el nombre de olivino, pero es francamente escaso. En España lo hay en Mallorca y en Gerona, pero no en el escenario geográfico que nos ocupa.

La fayalita $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ es una fase entéctica que se forma a 1176 grados como mezcla de 144 gr. de FeO (un óxido de hierro que no existe libre en la naturaleza); para que se forme FeO es preciso mantener artificialmente a la magnetita por encima de 700 grados centígrados en la atmósfera moderadamente reductora de un horno con 60 gr. de tridimita, es decir cuarzo- α tal y como se encuentra en la naturaleza, pero calentado artificialmente hasta el estado alotrópico cuarzo- γ que es la tudimita.

Se forma a esa temperatura, con esas proporciones de sílice-óxido de hierro (recordar que el 100 % de la muestra era fayalita) y en condiciones moderadamente reductoras (para que se forme FeO), luego podemos asegurar que el horno tenía bóveda, pues un fuego abierto tiene una atmósfera oxidante.

La historia de la metalurgia no es sino una historia de la fabricación de la fayalita. En los hornos del calcolítico⁽¹⁾ los metalurgos aprendieron que añadiendo una carga de óxido de hierro al carbón vegetal y a la mena del cobre, la escoria que se formaba era muy fluida y el beneficio del cobre se optimizaba. En las figs. 8 y 9 vemos cómo las escorias romanas, netamente fayalíticas, tienen una composición optimizada.

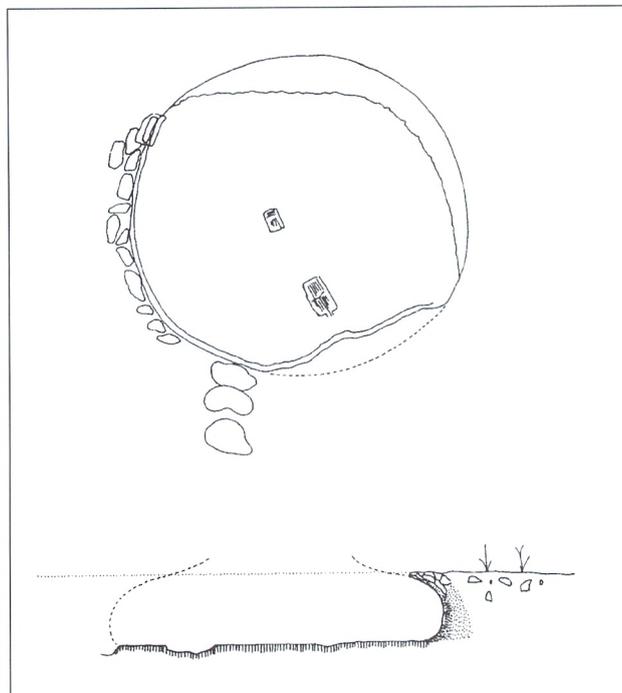


Figura 5: Horno n° 1: planta y alzado. Escala 1/20.

Independientemente de este aspecto de la fayalita como escoria metalúrgica optimizada, el hecho de que sea el silicato óxido de hierro-sílice, que ostenta la mínima temperatura de fusión de entre todos los posibles, la hace poder jugar los dos siguientes posibles papeles:

1) Frita de hierro. Si queremos incluir hierro en un vidrio, lo lógico sería formar una frita de fayalita. Tal debe ser el objeto de esta muestra 4, quedando explicado por qué tiene aspecto de escoria. Porque es una escoria que puede jugar como una frita.

2) Pasta vítrea moldeable. Su baja temperatura la hace trabajable como fayenza y sus propiedades mecánicas la hacen barata y válida para fabricar multitud de objetos. En España hay una gran tradición de utilización de fayalita como material estructural. Por ejemplo en La Rioja se utilizó la fayalita para fabricar estatuillas con una técnica similar a la *terra sigillata*⁽²⁾. En nuestros museos hay multitud de puntas de lanza⁽³⁾, de flecha etc., consideradas metálicas, cuando en realidad son de fayalita. Sin ir más lejos, en el Museo provincial de Murcia, existe una maza de minero fabricada con fayalita⁽⁴⁾. Más adelante volveremos sobre estos aspectos.

En la figura 7d se muestra una microestructura de la muestra 4. En efecto, se ve una fase verdosa clara con morfología como de plumas en cuyo interior quedan restos de la wustita (FeO) primigenia. La fase verdosa clara es la fayalita

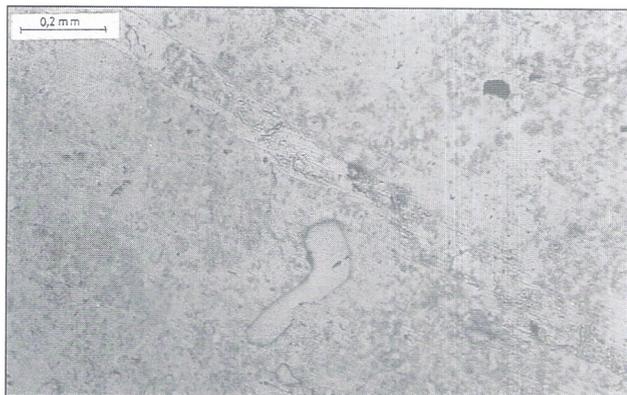


Figura 7a: Micrografía de la Muestra nº 1 tomada del horno 1.



Figura 7b: Micrografía de la Muestra nº 2 tomada del horno 1.

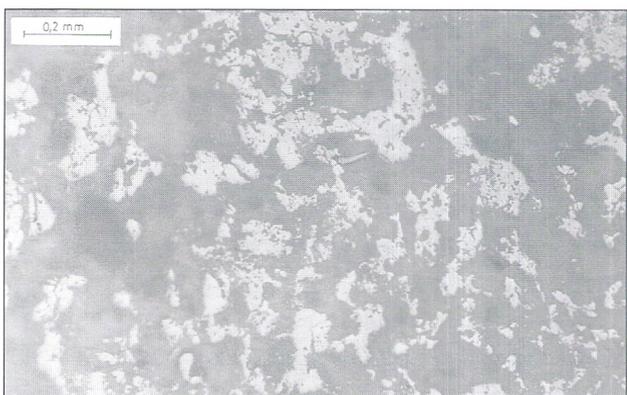


Figura 7c: Micrografía de la Muestra nº 3 tomada del horno 1.



Figura 7d: Micrografía de la Muestra nº 4 tomada del horno 1.

propiamente dicha. Su forma como de ramas de abeto o plumas se debe a la estructura dendrítica conseguida enfriando a partir de los 1176°C. La otra fase (verde oscura no es sino fayalita-tridimita con restos blancos de cuarzo. La micrografía de la figura 7d es una fayalita a punto de culminar su formación; con un poco más de tiempo los últimos restos de óxido de hierro negro y de sílice blancos, se habrían terminado de disolver en el producto final fayalítico verdoso.

Muestra nº 5. Los resultados en el análisis de difracción por rayos X fueron:

Fórmula compuesto	Nombre químico	F. Hanawalt	%
CaCO ₃	Calcita natural	(5-0586)	50
SiO ₂	cuarzo	(5-0490)	40
SiO ₂	Stishovita	(15-0026)	10

Los contenidos al casi 50 % entre la calcita y el cuarzo, indican que es una mezcla hecha por el hombre. El hecho de que la stishovita sea una transformada del cuarzo a 12001.400 grados centígrados nos indica la temperatura máxima a la que el horno trabajaba. La microestructura de esta muestra puede

verse en la figura 10 a, donde los granos claros corresponden a la fase cálcica y los granos coloreados a la fase silíceica. El fino tamaño de grano nos habla de una cuidadosa molienda. Parece lógico pensar que se trata de una frita para incorporarla a la sílice.

VI.4.- La torta de fayalita-olivino hallada sin contexto arqueológico. (Plano fig 4, punto B).

La peculiaridad de la muestra y su apariencia compacta nos llevó a pensar que podría suministrar una clave para la intelección de todo el proceso del problema industrial en el yacimiento.

Entregamos un fragmento de la muestra al Prof. R. Arana para que lo analizara. El resultado de este análisis es como sigue, siempre, según nos indica el Dr. Arana, teniendo en cuenta que habría sido necesario disponer de más numerosas muestras para poder reconstruir todo el proceso, que se necesitaba más tiempo para poder profundizar en el estudio óptico y por todo ello que las sugerencias apuntadas son meras ideas para un ulterior avance y revisión en el planteamiento:

ESTUDIO MINERALÓGICO DE UNA ESCORIA DE HIERRO DEL ÁREA DE BALSICAS. (MURCIA)

Por el Prof. R. Arana. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias (Químicas y Matemáticas). Universidad de Murcia.

Introducción

En esta nota se describen las principales características químicas y mineralógicas de una escoria de hierro encontrada en un yacimiento próximo a Balsicas (Murcia). Los métodos empleados han sido fundamentalmente la microscopía por luz transmitida y reflejada, difracción y fluorescencia de rayos X y análisis químico por espectrofotometría de absorción atómica.

Los resultados obtenidos son parciales y no permiten obtener conclusiones generales sobre el proceso metalúrgico, así como sobre las menas originales. Para ello habría sido necesario disponer de muestras representativas de los diferentes estadios del proceso, lo que sería deseable si prosiguieran las investigaciones en la zona.

Características generales de la muestra

El ejemplar estudiado, de siglas H.A., presenta un aspecto homogéneo, grano finísimo (no perceptible a simple vista), tonalidad negra intensa y fuerte brillo metálico en corte fresco. Las superficies de fractura son concoideas, destacando los replegamientos típicos producidos en el flujo de la escoria. La muestra presenta numerosas y pequeñas oquedades de tamaño inferior a 1 mm, producidas por el escape de gases durante el enfriamiento. Las vesículas más pequeñas están regularmente distribuidas y las de mayor tamaño se concentran en determinadas zonas. A simple vista se aprecian algunos cristales de la mena original que no han llegado a fundirse en el proceso. El tamaño es inferior a 1 mm y probablemente se trate de un sulfuro de hierro con impurezas de cobre.

Estudio por difracción de rayos X

Se molieron unos 2 gramos de muestra en mortero de ágata y posteriormente se tamizó a tamaño inferior a 50 micras. Se han realizado difractogramas de polvo, tanto con registro en papel como en cámara Debye-Scherrer.

Los difractogramas revelan una excelente cristalinidad en la muestra, con reflexiones agudas y bien definidas. Únicamente se detectan las líneas correspondientes a fayalita (Fe_2SiO_4) y maghemita ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$), fase de alta temperatura del

óxido férrico, con simetría cúbica.

Mediante un programa de cálculo se ha procedido a la asignación de índices a las reflexiones de fayalita y posteriormente a la determinación de los parámetros reticulares. Los índices encontrados son compatibles con el grupo espacial Pbnm y los parámetros cristalinicos correspondientes son:

$$a_o = 4.811 \pm 3.301 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$$

$$b_o = 10.486 \pm 9.705 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$$

$$c_o = 6.094 \pm 6.745 \cdot 10^{-3} \text{ \AA}$$

Que coinciden con bastante aproximación con los de una fayalita químicamente pura ($a=4.822$, $b=10.483$, $c=6.095$ A, ficha A.S.T.M. 20-1139).

En la Tabla siguiente se incluyen los datos cristalográficos del diagrama de polvo de la fayalita estudiada, con indicación del número de la reflexión, índices de Miller, ángulo observado, calculado y diferencia y espaciados reticulares observados, calculados y diferencias para una longitud de onda de 1.5405 A.

En cuanto a la maghemita, corresponde al polimorfo de alta temperatura del óxido férrico y el diagrama de polvo contiene las líneas más intensas, en perfecto acuerdo con la ficha de la A.S.T.M.

En los diagramas de la muestra estudiada no quedan líneas sin asignar a una de las dos especies anteriores, lo que significa que en caso de existir otro componente, su concentración debe ser muy baja, normalmente inferior a un 1%.

Análisis Químicos

Se han determinado los componentes dominantes Fe, Si, Pb, Zn, Mn y Cu, con los siguientes resultados:

Fe	53.92 %
Si	12.61 %
Pb	1.90 %
Zn	0.60 %
Mn	0.76 %
Cu	0.04 %

En fluorescencia de rayos X, aparte de los elementos antes reseñados, aparecen las líneas características de Ti, Ca y K con elevada intensidad y las de Ni, Cr, Co, Ba, Cl y Ba como trazas. Esta diversidad de elementos metálicos en la muestra estudiada es congruente con una mena inicial polisulfurada.

Datos microscópicos

La muestra analizada aparece al microscopio como un entramado de haces prismáticos alargados entrecruzados o

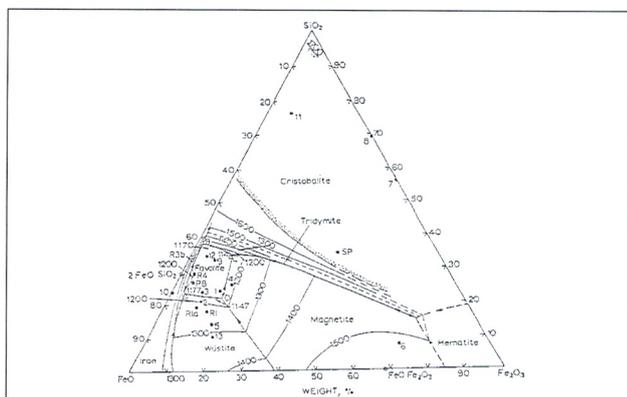


Figura 8a: Diagrama ternario Fe_2O_3 - FeO - SiO_2 .

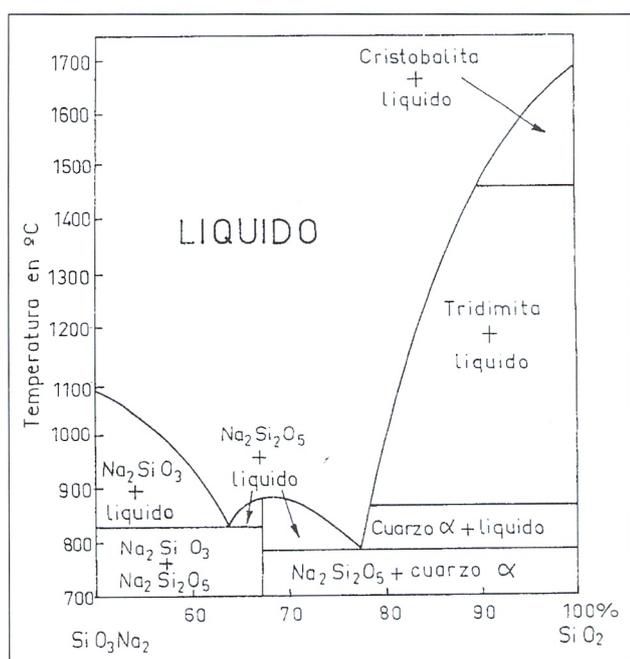


Figura 9a.

interpenetrados en grado variable, constituidos a su vez por individuos finamente maclados. Todo ello es consecuencia de una cristalización masiva en un proceso de enfriamiento relativamente lento. El hábito mostrado por los haces de fayalita en nada recuerda a las formas comunes de los cristales naturales, aunque sí concuerdan sus características ópticas esenciales como birrefringencia y signo óptico.

Conclusiones parciales

Los escasos datos obtenidos hasta el momento inclinan a pensar que se trata de una fundición de cobre a partir de menas primarias polisulfuradas, probablemente con pirita, calcopirita, esfalerita y algo de galena. Se descarta una fundi-

Contenido en %							
Muestra n.6	K	Fe	Si	Ca	Na	Pb	Al
zona superior	< 0,3	mucho	mucho	~ 1	—	~ 1	~ 2
núcleo	< 0,3	mucho	mucho	~ 1	~ 2	~ 2	~ 3

Cuadro N° 4.

ción original de hierro debido a las fases encontradas en el análisis de la escoria.

El estudio en luz reflejada pone de relieve la presencia de pequeños cristales de sulfuros primarios que no han sido totalmente digeridos (calcopirita y algo de pirita). En efecto, la recuperación de cobre por el método de fusión implica varias operaciones complejas para separar el hierro contenido en las menas de partida, en forma de silicato ferroso ya en la escoria. En esencia, las operaciones básicas incluyen una tostación a una temperatura insuficiente para fundir los compuestos de hierro o cobre. En esa tostación se desprende SO_2 y quedan óxidos de hierro y cobre (Fe_2O_3 y Cu_2O). Después se mezclan estas fases en un horno de reverbero, con mineral sin tostar, carbón y sílice, de forma que parte del hierro se separa en la escoria como silicato ferroso y el cobre pasa a Cu_2S acompañado de impurezas que posteriormente se separan en un convertidor. (Cuadro n° 3).

Por su parte el Dr. Madroñero continuó con su análisis como venía haciéndolo con el resto de las muestras y los resultados fueron éstos:

Muestra n. 6 : Pieza similar a una piedra de molino (disco con orificio central). Su cara superior muestra un aspecto de "piedra de fuego", es decir, de goterones solidificados, lo que le resta la posibilidad de utilización como piedra de molino. Tiene todo el aspecto de una escoria de derretido⁽⁵⁾.

El análisis espectométrico ofrece el siguiente resultado que podemos apreciar en el cuadro n° 4.

Lo más significativo son los contenidos en Pb y Na, mucho más altos que en las muestras del horno 1.

Veamos los resultados del análisis de difracción de Rayos X: Tales resultados muestran una composición de fayalita casi al ciento por ciento en ambos casos (zona superior y núcleo de la pieza). Tan sólo hay una casi inapreciable adición de Magnetita ($-Fe_2O_3$), producto de la oxidación de la wustita FeO . La única diferencia entre los difractogramas de la zona superior y el núcleo de la pieza es que el núcleo es más vítreo (menor perfección cristalina) que la zona superior, lo que nos

Escoria H. A.

N.	h	k	l	Ang (Observ)	Ang (Calcul)	Diferencia	d (Observ)	d (Calcul)	Diferencia
1	0	2	0	16.9000	16.8907	.0093	5.2400	5.2429	-.0029
2	1	1	0	20.3000	20.2855	.0145	4.3694	4.3725	-.0031
3	0	2	1	22.4000	22.3422	.0578	3.9643	3.9744	-.0101
4	1	0	1	23.5500	23.5330	.0170	3.7732	3.7759	-.0027
5	1	1	1	25.0000	25.0355	-.0355	3.5576	3.5526	.0050
6	1	2	0	25.0000	25.0928	-.0928	3.5576	3.5446	.0129
7	0	0	2	29.4000	29.2757	.1243	3.0344	3.0470	-.0126
8	1	3	0	31.6000	31.6032	-.0032	2.8280	2.8277	.0003
9	0	2	2	34.1000	33.9897	.1103	2.6261	2.6344	-.0083
10	1	3	1	35.0000	34.9385	.0615	2.5606	2.5650	-.0044
11	1	1	2	35.9000	35.8793	.0207	2.4985	2.4999	-.0014
12	2	0	0	37.4000	37.3405	.0595	2.4016	2.4053	-.0037
13	2	1	0	38.4000	38.3477	.0523	2.3414	2.3444	-.0031
14	2	1	1	41.2000	41.2074	-.0074	2.1885	2.1881	.0004
15	2	2	0	41.2000	41.2443	-.0443	2.1885	2.1862	.0022
16	1	3	2	43.7000	43.6164	-.0836	2.0689	2.0727	-.0038
17	2	3	0	45.7000	45.7347	-.0347	1.9829	1.9815	.0014
18	1	1	3	49.4000	49.4132	-.0132	1.8427	1.8422	.0005
19	1	4	2	49.4000	49.5728	-.1728	1.8427	1.8367	.0060
20	2	2	2	51.5000	51.3778	.1222	1.7724	1.7763	-.0039
21	2	4	0	51.5000	51.5019	-.0019	1.7724	1.7723	.0001
22	2	4	1	53.9000	53.8034	.0966	1.6990	1.7018	-.0028
23	0	6	1	54.7000	54.5624	.1376	1.6760	1.6799	-.0039
24	1	3	3	55.8000	55.6448	.1552	1.6455	1.6498	-.0042
25	0	4	3	57.4000	57.3119	.0881	1.6034	1.6057	-.0023
26	3	1	0	58.1000	58.1251	-.0251	1.5858	1.5851	.0006
27	1	6	1	58.1000	58.0906	.0094	1.5858	1.5860	-.0002
28	3	1	1	60.3000	60.2553	.0447	1.5331	1.5341	-.0010
29	0	6	2	60.9000	61.0515	-.1515	1.5194	1.5160	.0034
30	2	3	3	65.5000	65.7572	-.2572	1.4234	1.4184	.0049
31	3	1	2	66.4000	66.4004	-.0004	1.4062	1.4062	.0000

número de reflexiones 31

**ORTORROMBICO
PARÁMETROS DE LA CELDILLA**

CELDA RECÍPROCA

A* = .207871 +/- 1.42647E-04

B* = 9.53676E-02 +/- 8.82661E-05

C* = .164096 +/- 1.81637E-04

Vol* = 3.253068076446650-03 +/- 8.84397E-06

CELDA DIRECTA

A = 4.81068 +/- 3.30122E-03

B = 10.4857 +/- 9.70493E-03

C = 6.09398 +/- 6.74537E-03

Vol = 307.402130126953 +/- .83572

CUADRO Nº 3

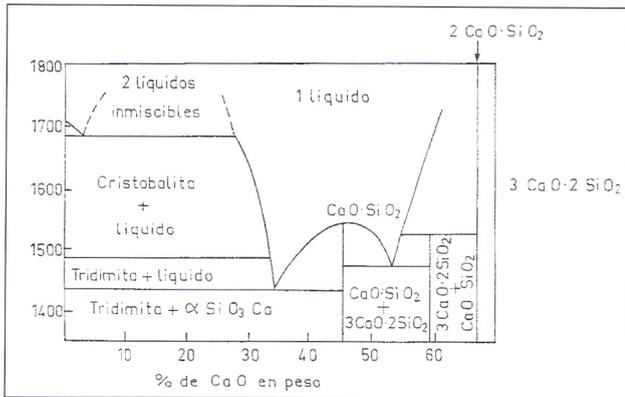


Figura 9b.

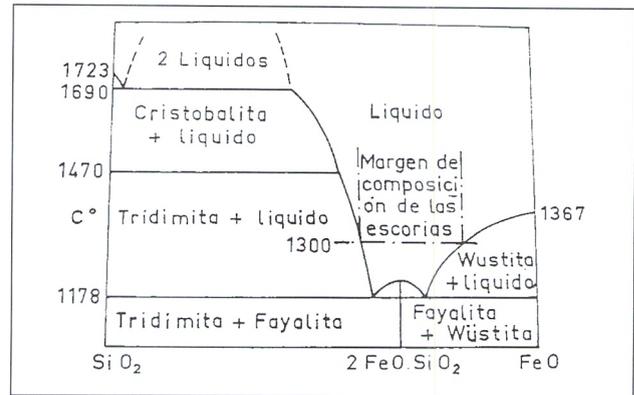


Figura 9c.

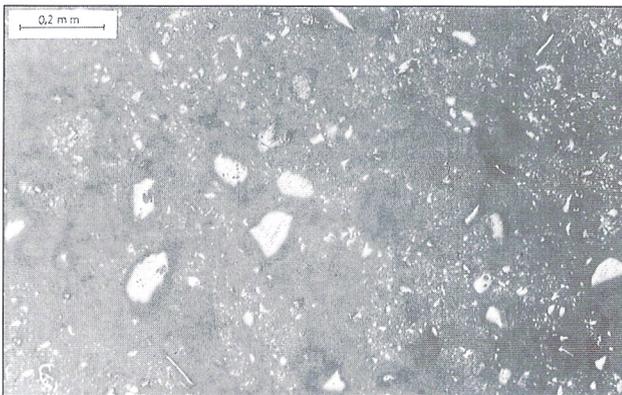


Figura 10a: Micrografía de la Muestra nº 5 tomada del horno 1.

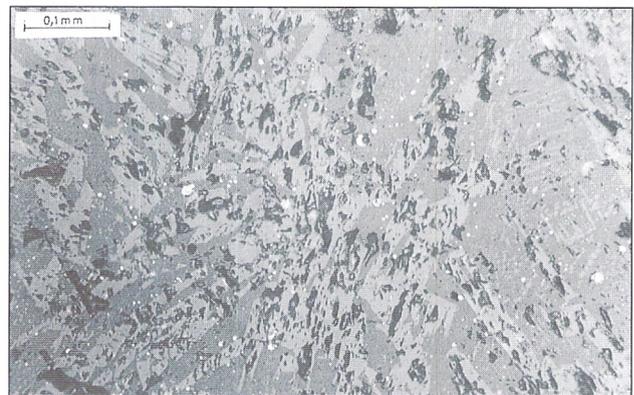


Figura 10b: Micrografía de la Muestra nº 6 tomada del horno 1.

indica que la zona superior se enfrió más lentamente, lo que es normal pensando en un horno de bóveda.

En la fig. 10b se nos repite la microestructura de la fig. 7d. Está claro que la muestra 6 está fabricada reuniendo una cierta cantidad de muestra 4.

Podemos juzgar ahora el tipo de función que estos hornos ejercían. Desde luego eran hornos de preparación de frita. La muestra 5 es una frita de sílice-cal y con muestras como la n. 4 se obtienen luego piezas como la muestra n. 6. Lo que llama más la atención es su forma (de esta muestra 6) como piedra de molino. En un principio pueden imaginarse las siguientes explicaciones para su morfología:

a) Podría pensarse que a una piedra artificial como ésta, pero dura, mediante un tratado de cantería, se habría o podría haberse utilizado como piedra de molino, para moler trigo o cereales.

b) Podría usarse como piedra con orificio en un horno de soplado de vidrio.

c) Podría usarse como frita sílice-hierro para vidrios oscuros fabricados en el mismo entorno, o para esmaltes cerámicos.

d) Se dedica como lingote de transporte "hacia otros puntos geográficos (: Valencia, Murcia etc)" en los que no hubiera producción de hierro y sí, en cambio, se fabricase cerámica barnizada o bien objetos de vidrio.

Examinemos la viabilidad de cada una de estas hipótesis:

- La hipótesis a) parece poco consistente, dado que existen en el entorno piedras de mejor calidad para semejante propósito.

- La hipótesis b) tampoco parece consistente, por existir en el entorno materiales como la piedra micácea (muestra 34). Además el horno de soplado de crisol único está abandonado por estas épocas (fig. 11)

- La hipótesis c) sería una práctica antieconómica. Bastaría con triturar material como la muestra 4.

- La hipótesis d) aparece como muy razonable. Estas tortas son fácilmente transportables por vía terrestre a lomos de caballería. El paso de material como la muestra 4 a material como la 6 que aquí comentamos supone un importante ahorro de volumen.

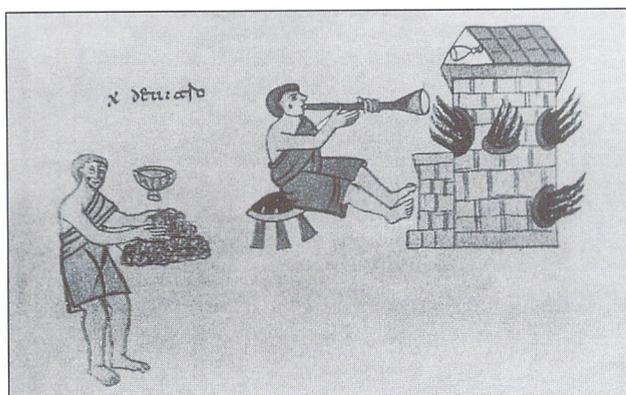


Figura 11: Horno del 1000 d.C. Tomado de "De Universo" de Hrabanus Maurus.

Convendría quizá comentar que esta exportación podría estar destinada a la fabricación de mazas etc. tal y como comentábamos antes refiriéndonos a la sal (nota 4). Aunque es posible no lo creemos probable dado que lleva plomo intencionadamente añadido. Con las invasiones bárbaras cae en desuso la utilización de la fayalita como material para obtener utensilios. La abundancia romana acostumbró a los hombres a utilizar sólo hierro. No obstante, el tema del final de la utilización de utensilios de fayalita queda abierto para posteriores estudios.

Sólo nos queda aventurar una hipótesis sobre la morfología completa de estos hornos. Solamente se puede intentar reconstruir dimensiones de la bóveda, sobre la base de que la continuada experimentación de aquellos artesanos, les había llevado a formas similares a los óptimos de la ingeniería.

En la fig. 12 recogemos unas ideas claras y simples de acuerdo con la Física más elemental. Todo lo que se diga para espejos ópticos vale también para espejos acústicos o térmicos, ya que la reflexión es el fenómeno común a todos.

En la fig 12a vemos el concepto de espejo esférico; todos los rayos que caminando paralelos inciden como un haz, al salir se ven concentrados en un punto llamado foco F, en donde todos se entrecruzan. Omitimos la sencilla demostración geométrica por estar incluida en cualquier texto elemental de óptica. Por el principio de reversibilidad del camino óptico, una llama colocada en F, enviaría toda su luz en haz paralelo al infinito.

De acuerdo con esto, y según se representa en la fig. 12b un imaginario horno semiesférico, con el suelo cubierto de ascuas, tendría su punto más caliente a su media altura (ya volveremos a comentar esto con referencia a los hornos de soplado de la fig. 15b). El caso inverso es el de la fig. 12c que se correspondería, por ejemplo, con el foco incandescente de

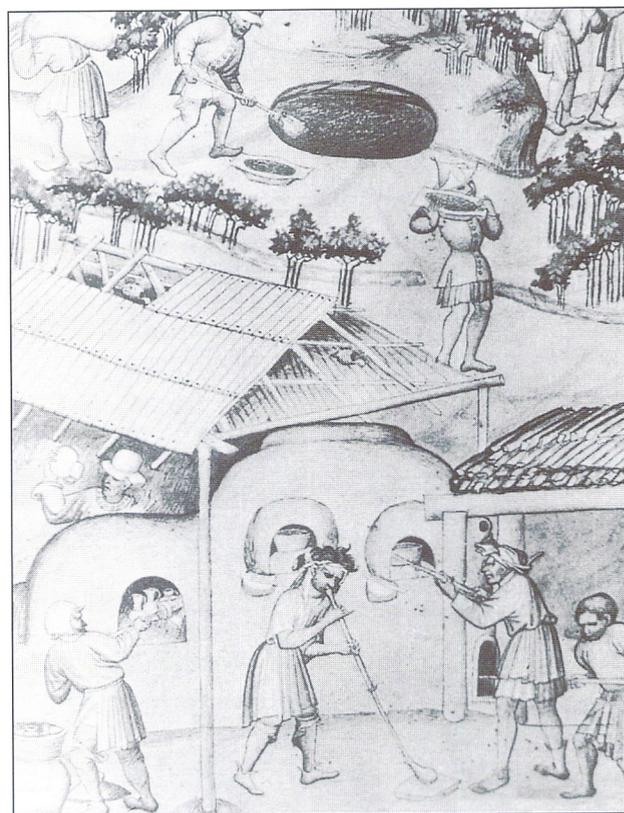


Figura 15a: Tomado de "Sir John Mandeville's Travels" (1420).

la bombilla del faro de un automóvil que proyecta el haz a la lejanía.

En realidad una operación tan sencilla como la preparación de una frita, necesita muy poco volumen de maniobra. Por ello en aquellos hornos de Balsicas, utilizaban la configuración de la fig. 12d, en la cual el suelo de ascuas está casi a la altura del foco térmico, en donde se situará la mezcla de arena para formar la frita.

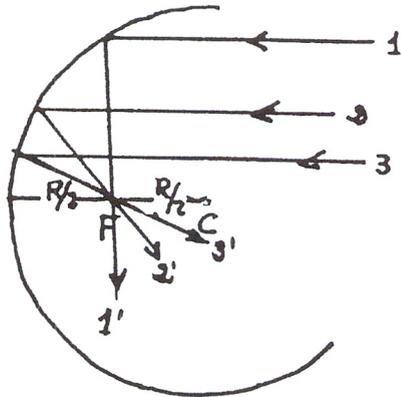
Simplemente la expresión del teorema de Pitágoras del triángulo de la figura queda: $R^2 = a^2 + (a-h)^2$

Si imponemos que el suelo esté a 1a altura del foco, equivale a imponer: $H = R/2$

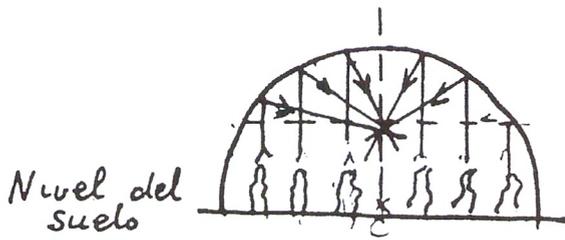
Introduciendo esta igualdad en la ecuación anterior resulta: $a = \sqrt{3} h$

Es decir que hay una razón constante entre la semianchura de la solera y la altura de la bóveda que puede expresarse aproximadamente: $h = \approx 0.7.a$

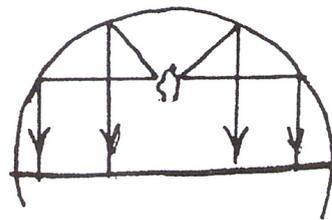
Es decir, la altura de la bóveda es el 70% aproximadamente de la semianchura de la solera, lo cual da una buena altura de trabajo, pues a los tales hornos se les iba cargando la frita por arriba (salida de humos simultáneamente) y el combustible por gateras a nivel del suelo, o casi. Como había



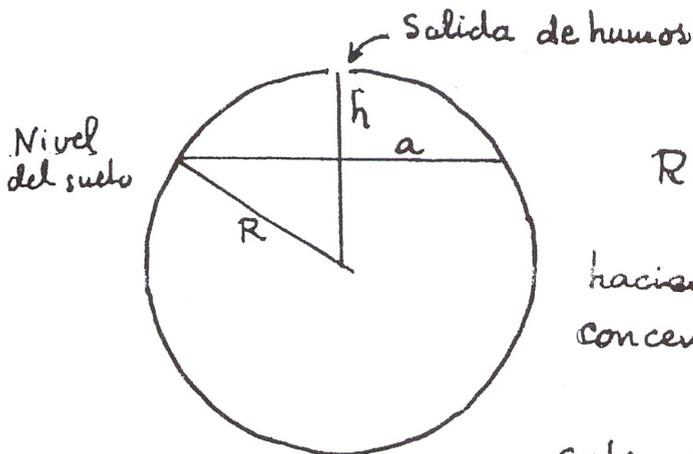
2) Los espejos esféricos tienen su foco en el punto medio del radio



b) Configuración de concentración



c) Configuración de proyección



$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

haciendo la configuración de concentración con altura mínima

$$\frac{R}{2} = h$$

sale $a = \sqrt{3}h \Leftrightarrow h \approx 0.7 \cdot a$

d) Concentración con altura mínima

Figura 12: Conceptos básicos en geometría de espejos esféricos.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
 INSTITUTO DE QUIMICA FISICA "ROCASOLANO"
 LABORATORIO DE GEOCRONOLOGIA

Serrano, 119
 Madrid-6
 Teléf. 261 94 00

DETERMINACION DE EDADES POR EL METODO DEL CARBONO-14

INFORME

NOMBRE DE LA MUESTRA: Los Jerónimos, Balsicas, Torrepacheco, Murcia

MATERIAL: Carbón vegetal

PRESENTADA POR: Antonino González Blanco
 Departamento de Historia Antigua
 Universidad de Murcia

EDAD CARBONO-14: 350 \pm 50 años

EDAD EQUIVALENTE: 1600 años d.C.

REFERENCIA DEL LABORATORIO DE GEOCRONOLOGIA: CSIC-712

Madrid, 14 de noviembre de 1986

- ≡ Período utilizado para el carbono-14: 5568 años
- Por acuerdo internacional se acepta el año 1950 d. C. como la edad cero para el método del carbono-14. Por tanto, para pasar de una escala a otra basta restar 1950.
 - El error que acompaña a la edad carbono-14 indica la precisión con que la radiactividad C-14 ha sido medida en el laboratorio.
 - A fines de identificación, la referencia del laboratorio conviene sea citada en toda publicación en que se mencione la edad de la muestra, así como en cualquier consulta al laboratorio sobre dicha muestra.

Figura 13: Documento de I. Rocasolano.

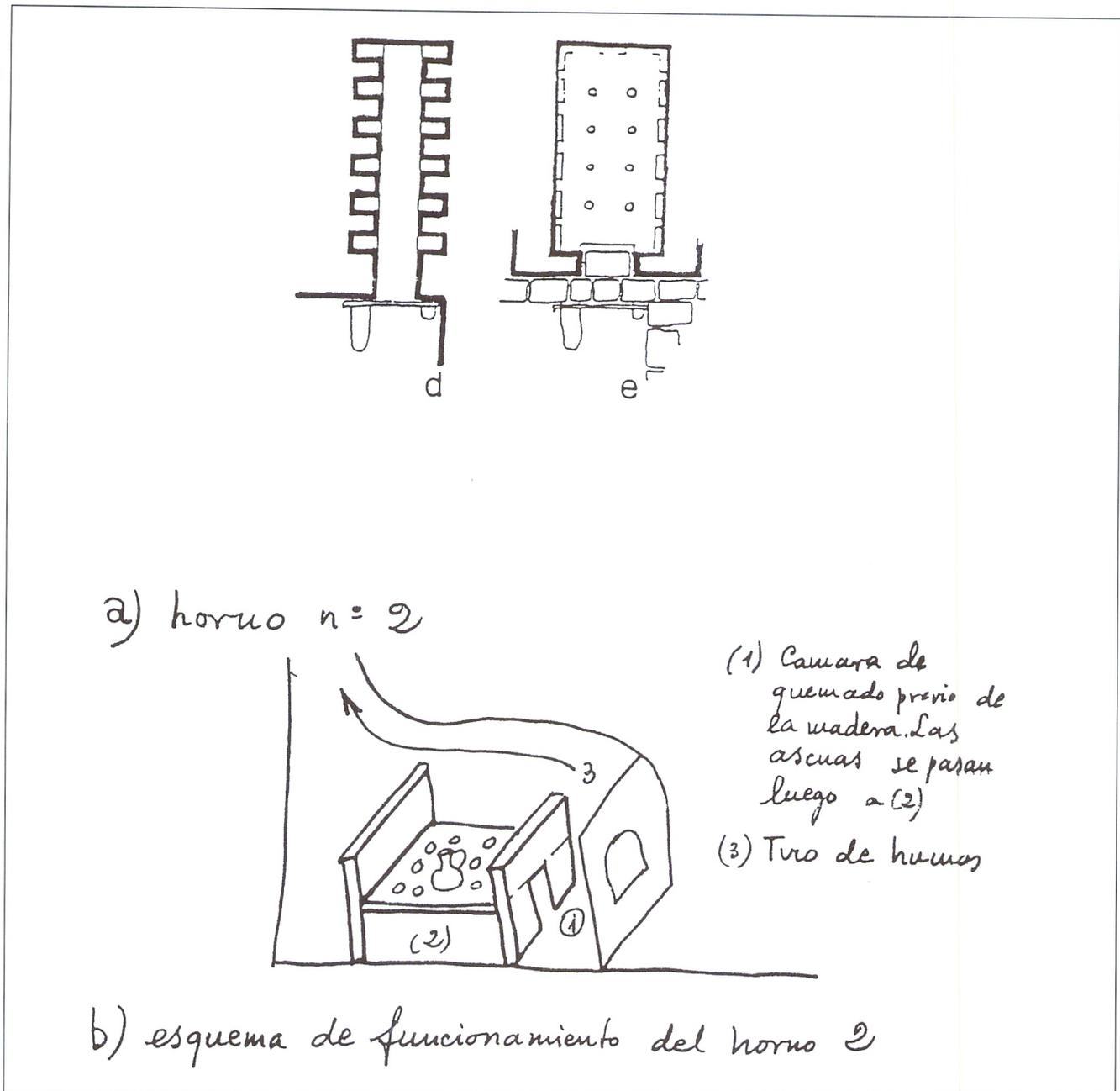


Figura 14: Tipología y esquema de funcionamiento posible para el horno 2.

que revolver y tantear la frita con una pértiga, ésta se pasaba a través de la gatera.

En el caso del horno de Balsicas que comentamos, como la solera presenta una anchura de 1'90 m. aproximadamente, a=95 cm. y sale h=≈67 cm, una altura perfectamente utilizable.

Parece lógico pensar que la bóveda fue ligera y construida con materiales deleznable por lo que los restos son difícilmente reconocibles.

VI.5 . Estudio de los restos del horno n.2, y de las muestras del material que contenía.

Es seguramente el más grande de los hornos hallados hasta ahora, a juzgar por los restos, muy destrozados, que pudimos contemplar. De planta rectangular estaba situado a unos 80 metros. del lugar en que apareció el horno n. 1.

Entre los escombros pudimos recoger restos de madera carbonizada entremezclada con la arena que rellenaba el hueco. La madera carbonizada estaba finamente troceada y



Figura 15b: En "De Re Metallica" de Agricola. (1556).

dispersa por la arena, hasta el punto de que tuvimos que ir la extrayendo por cribado.

Se trata, sin duda, de los desechos del fuego entre los residuos que fueron rellenando el hueco del derruido horno. No obstante pudimos extraer la cantidad suficiente como para encargar un análisis de C-14, que fue realizado en el Instituto Rocasolano de Química Física del C.S.I.C. en Madrid. El resultado fue una datación de hacia 1600 d.C.

Entendemos que el 1600 es una fecha límite tope, nada más. Una muestra porosa finamente triturada como la que recogimos debe haber sufrido una contaminación orgánica del medio enterrado que nos va a rejuvenecer la fecha verdadera, en el caso normal, pero nunca nos la va a hacer más antigua. Pero, como luego veremos, los materiales del vertedero atestiguan la utilización del horno en torno a la fecha obtenida ya en tiempos modernos (fig. 13).

La imagen que pudimos obtener de la limpieza y proyección de los restos del horno es similar a la que aparece en nuestra fig. 14a. Evidentemente no se trata de un horno metalúrgico, por su tamaño, forma y ausencia de revestimiento y escoria metalúrgica. El hecho de que contenga restos de prácticamente sólo vidrio y cerámica barnizada, nos inducen a asignarle una función de horno de barnizado o templado de vidrio, para lo cual, y de acuerdo con la planta que la excavación descubre es lo que nos permite asignarle el tipo de arquitectura como la que se muestra en la fig. 14b. Este horno es muy similar al horno de Theophilus, cuya maqueta se

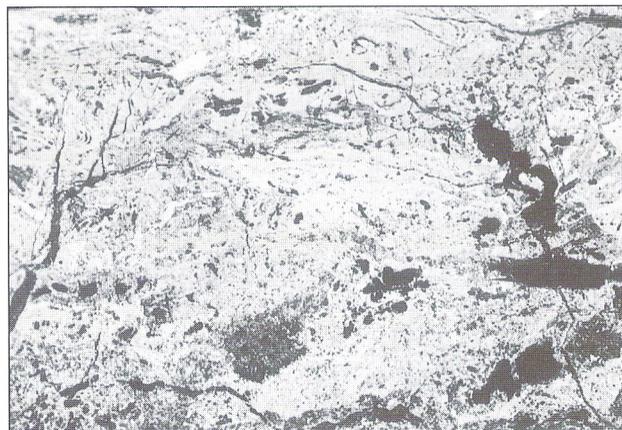


Figura 16: Micrografía de la Muestra nº 50.

encuentra en el Science Museum de Londres. Dicha maqueta reproduce la descripción de Theophilus (The Various Arts, 1110-1140) traducido al inglés por John G. Hawthorne y C. Stanley Smith (Chicago). Nosotros lo hemos recogido de la p. 21 de la obra que citamos en nota⁽⁶⁾.

Conviene ahora pensar en la época a la que cabe asignar dicha arquitectura. El problema es grave, teniendo en cuenta, sobre todo, la intemporalidad de algo como un horno de cerámica frente a un elemento arquitectónico o una fíbula, por ejemplo. A mayor abundamiento, nuestras publicaciones arqueológicas reflejan una historia de la investigación en la que es claro que hasta tiempos muy recientes el interés por este tipo de estudios ha sido muy escaso.

En la fig. 15 mostramos dos grabados del comienzo de la Edad Moderna. En el grabado de 1442 encontramos hornos de fritada como del tipo de nuestro horno n. 1 (nos indica que una vez terminada la operación de fritar, desmantelaban la bóveda) y un horno de soplado y templado, aprovechando el mismo hogar. Hay cinco operarios trabajando en el horno. El que está situado a la derecha de todos alimenta el fuego con leña. Los dos siguientes soplan el vidrio a través de largas cañas. El cuarto introduce las piezas en el horno de templado (relajación de tensiones residuales mediante un recocido prolongado) del vidrio ya conformado en vasijas, mientras que el quinto y último operario extrae las piezas y las examina al trasluz, para desechar las defectuosas, que una vez trituradas volvían a ser incluidas en la carga de los hornos para fabricar nuevas piezas (no nos extraña encontrar pedacitos de vidrio por doquier).

Lo ideal es que los hornos vayan tomando la filosofía de las bóvedas de acuerdo con lo expuesto en la fig. 12b y que el espacio entre el operario cuarto y quinto se alargue como



Figura 17a: Examen al microscopio electrónico. Muestra 41. Superficie meteorizada.

un túnel, para posibilitar la existencia de una zona intermedia amplia con temperatura uniforme,

La historia viene a darnos la razón, y el horno de soplado toma la configuración casi de la fig. 12 b (en vez de la semiesfera, juega a un semielipsoide de revolución; nosotros tomamos la esfera en la fig. 12 sólo a efectos de una mayor simplicidad en la explicación mientras que el horno de templado se hace alargado. Para más aumentar el efecto de uniformización de la temperatura, las vasijas se cargan en bovedillas de perfil de catenaria (H de la fig. 15 b). Los dos hornos han quedado definitivamente separados.

Lo que está claro es que el horno de la fig. 14 b, es mayor (posterior) que los pequeños hornos romanos de vidrio y por su forma alargada hay que situarlo hacia la baja Edad Media o comienzo de la Moderna.

Los materiales cuyas muestras recogimos en la limpieza del destruido horno fueron:

- 1) Materiales de tipo frita, revestimientos etc.
- 2) Cerámica esmaltada de tipo árabe
- 3) Pequeños trozos de vidrio
- 4) Un único pedazo de clavo de hierro
- 5) Un fragmento de vidrio especial que examinaremos con más detenimiento.

Las muestras sometidas a examen fueron:

Tipo 1.

Muestra 36. Pedazo de material tipo calcáreo con inclusiones pequeñas como de paja quemada.

Muestra 37. Análoga a la anterior, pero sin paja quemada

Muestra 38. Pequeños trozos ennegrecidos

Tipo 2.

Muestra 40. Vidriado verde sobre arcilla cocida

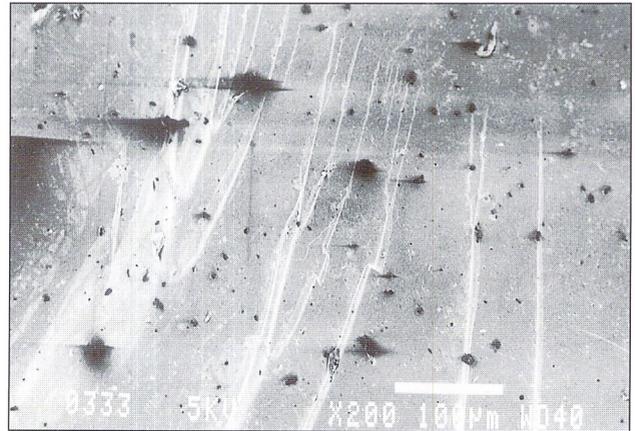


Figura 17b: Examen al microscopio electrónico. Muestra 41. Superficie de fractura.

Tipo 3.

Muestra 41. Pedazo pequeño de vidrio oscuro. Podría ser un trozo de lacrimario.

Muestra 42. Vidrio transparente formando parte del lóbulo de una vasija. Se hace el borde doblando sobre sí mismo (vidrio hueco)

Tipo 4.

Muestra 50. Pedazo de clavo de hierro muy rojizo.

Veamos los análisis por difracción de Rayos X de estas muestras:

Tipo 1	Muestra 36	Composición	CO ₃ Ca	100 %
	Muestra 37	Composición	CO ₃ Ca	85 %
			SO ₄ Ca.2H ₂ O (yeso)	15 %

Estamos, pues, ante materiales de revestimiento del horno clasificables como mortero y adobe.

Tipo 2. Muestra 40: El difractograma sale completamente plano; es completamente amorfo, en consecuencia. Su análisis por espectrometría de emisión dio:

Fe	3 %
Si	mucho
Pb.....	Base
Ca.....	0'5 %
Na	1 %

Es decir: es un vidrio al que se le añadió mucho Pb para hacerlo un buen barniz. Evidentemente es un barniz de tipo árabe, si bien ninguna frita de los que vimos aparecer en el horno n. 1 podría hacer este barniz. Tenía que haber otras fritas (una al menos para añadir el Pb) aparte de las que hemos estudiado.

Tipo 3. Muestra 41: El difractograma sale completamente plano, lo cual nos indica un estado completamente amorfo,

como corresponde a un buen vidrio. El análisis por espectrometría de emisión dio:

Fe.....	0'05
Si.....	Mucho
Pb.....	
Ca.....	5
Na.....	20

Aquí tenemos un vidrio de vasija. No tiene plomo, ni apenas hierro. En efecto había fritas con algo de hierro, destinadas a barnices. Y había fritas sin hierro destinadas a hacer vidrio para vasijas. Y faltan por encontrar fritas de plomo.

Muestra 42. El difractograma sale completamente plano. Nuestro análisis por espectrometría de emisión dio como resultado:

Fe.....	0'1
Si.....	Base
Pb.....	0'3
Ca.....	5
Na.....	3

Estamos ante una muestra similar a la anterior, vidrio para soplado. A fin de conseguir vidrio transparente han reducido el contenido de hierro y han sustituido el sodio con plomo, que se mantiene por debajo del contenido plúmbeo de los barnices.

Muestra 50. Se trata del único clavo encontrado en el asentamiento. Es pequeño y retorcido, por lo que bien pudo ser un clavo olvidado en un leño viejo que se consumió como combustible en el horno. Su análisis espectrométrico dio como resultado:

Fe.....	Base
Mn.....	0'02
Si.....	0'5
Ag,Pb,Au,As.....	--
Cu.....	0'2

El difractograma de Rayos X señalaba magnetita y algo de hierro metálico. Estamos, pues, ante un hierro antiguo como los estudiados en la nota 4. En efecto su microestructura mostrada en la fig. 16 confirma la antigüedad del tipo de hierro.

Un poco por curiosidad vamos a estudiar algunas de estas muestras en el microscopio electrónico de barrido.

En la fig. 17 examinamos a través del microscopio electrónico de barrido la muestra n. 41. Al tener tanto sodio, el vidrio resulta con un fuerte ataque superficial, que no es homogéneo, como en el caso de la figura 20, sino localizado, lo que nos indica una homogeneización insuficiente. La fig. 17b nos



Figura 18a: Examen al microscopio electrónico. Muestra 42. Superficie meteorizada.

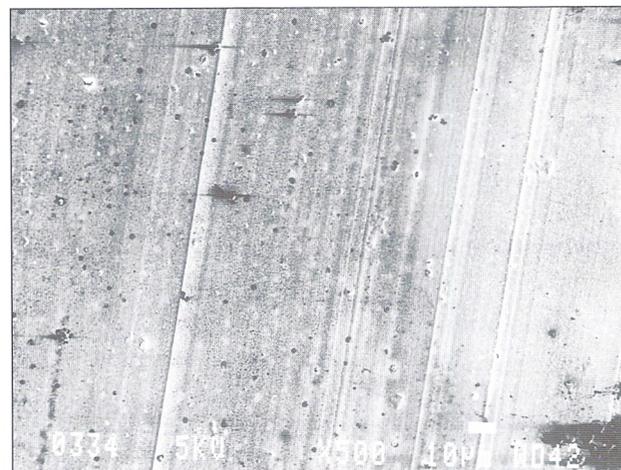


Figura 18b: Examen al microscopio electrónico. Muestra 42. Superficie meteorizada.

habla de nuevo de inclusiones o faltas de homogeneización y nos muestra los "ribs" que nos certifican que es un auténtico vidrio, y no una frita.

En la fig. 18 se nos muestra el examen de la muestra 42. Simplemente la disminución en sodio ha reducido la vulnerabilidad de la superficie.

Para contraste, examinemos la muestra 6 (toda de fayalita con orificio central) en la fig. 19. Lo más característico es que la fractura no presenta "ribs" sino una rotura concoidea, como corresponde a un mineral de tipo pedernal por ejemplo. No era vidrio.

VI.6. Estudio del fragmento de vidrio hallado en el mismo contexto.

Se trata de un fragmento de unos 2 cm² con un grueso de 2 mm. Su aspecto era iriscente, casi transparente y su forma

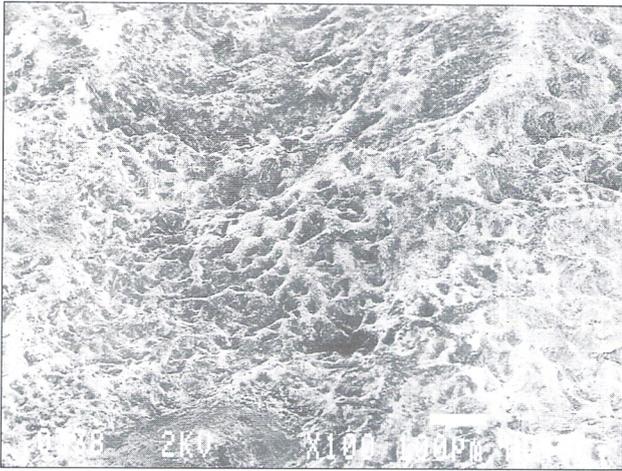


Figura 19a: Examen al microscopio electr. de barrido de la muestra 6. Superficie meteorizada.



Figura 19b: Examen al microscopio electr. de barrido de la muestra 6. Superficie de fractura.



Figura 20 a: Fractura de la muestra justo antes de ser examinada.



Figura 20 b: Muestra de vidrio aparecida en superficie en el entorno de los hornos 1 y 2.

podría ser entendida como un fragmento de borde de vasija romana.

Despreciando su escaso valor arqueológico pudimos estudiarlo por completo. Lo primero lo rompimos por el centro para analizarlo químicamente por microsonda electrónica, en la superficie recién formada. Si analizamos la superficie que lleva siglos a la intemperie, podemos cometer el grave error de estudiar una superficie muy alterada. En la fig.20 se muestra la imagen que nos suministra el microscopio electrónico de barrido. La superficie meteorizada muestra un fuerte lixiviado, a consecuencia del cual el vidrio presenta esas irrisaciones características del vidrio antiguo. La superficie de

fractura presenta unos cordones paralelos muy característicos de la fractura del estado vítreo ("ribs" en la literatura técnica anglosajona). Estamos, pues, ante un vidrio real y verdadero, no ante una fayenza, ni pasta vítrea, ni similares. Deberá ser, además, un vidrio complejo y no muy bien homogeneizado, pues un lixiviado tan virulento es índice de devitrificaciones parciales o inhomogeneidades.

El análisis químico realizado sobre la zona media de la superficie de la fractura, mediante microsonda electrónica con sistema de energías dispersivas (no hay comparación con muestra-patrón alguna; la intensidad de cada línea espectral se introduce en un programa de ordenador, que calcula el

Vidrio romano (vasijas)		Vidrio medieval		Vidrio asirio	
Oxido	Contenido %	Oxido	Contenido %	Oxido	Contenido %
Si O ₂	69	Si O ₂	54'01	Si O ₂	63'50
Na ₂ O	17'34	Na ₂ O	1'70	Na ₂ O	15'04
K ₂ O	0'59	K ₂ O	13'20	K ₂ O	4'15
CaO	7'09	CaO	17'37	CaO	5'60
MgO	1'11	MgO	5'33	MgO	3'61
Al ₂ O ₃	1'89	Al ₂ O ₃	2'41	Al ₂ O ₃	1'63
Fe ₂ O ₃	0'87	Fe ₂ O ₃	0'81	Fe ₂ O ₃	3'32
PbO	0'70			PbO	0'40
		P ₂ O ₅	4'18		
				Cu ₂ O	3'58
				TiO ₂	0'16

Cuadro N° 5

contenido ponderado en cada óxido), dio como resultado:

Oxido	Contenido %
Na ₂ O	2'59
Si O ₂	81'45
SO ₃	1'26
Cl	0'49
K ₂ O	1'05
CaO	10'00
FeO	3'15

Vamos a comparar esta composición con la de un vidrio asirio del segundo milenio a. C⁽⁷⁾ y con un vidrio romano y otro medieval⁽⁸⁾. (Cuadro 5).

Aunque sabemos que siglos de tecnología del vidrio no pueden resumirse en una tabla y que incluso la comparación está dificultada por las diferentes técnicas analíticas (La nota 8 recoge bibliografía de 1923, mientras que la nota 7 cita obra de 1983), parece claro podemos extraer las siguientes observaciones:

a) El vidrio romano y el asirio usan gran cantidad de natrum (% de Na₂O), mientras que en el medieval en vez de

sodio se usa potasio, que se aporta con cenizas de huesos (alto fósforo). Nuestro vidrio de Balsicas puede tener el sodio, no ya del natrum, sino del simple cloruro sódico (sal común) debido al Cl que presenta. Tampoco parece correcto suponerle de la época de la abundancia de sodio a partir de las cenizas de las plantas espinosas. Una datación de época árabe cae bien.

b) Veamos el contenido en hierro. En Roma y en el Medioevo está a nivel de impurezas. En el vidrio de Balsicas su existencia es intencionada.

A fin de valorar la significación de este contenido ferroso, hicimos un análisis comparativo por espectrometría de emisión pese a sus resultados no muy exactos, entre este vidrio de Balsicas y un trozo de similar aspecto y características aparecido en el curso las excavaciones de Begastri (Cehegin, Murcia). Los resultados se muestran en el cuadro 6.

Hay gran similitud en el hierro y sobre todo en el plomo. A este insignificante pedacito de vidrio de Balsicas, podemos clasificarle muy probablemente como vidrio moruno.

Cuadro N° 6

	K	Fe	Si	Ca	Na	Pb	Al
vidrio de Balsicas	0,3	2	Base	Mucho	3	0,3	1
vidrio de Begastri	0,3	5	Base	Mucho	5	0,3	5

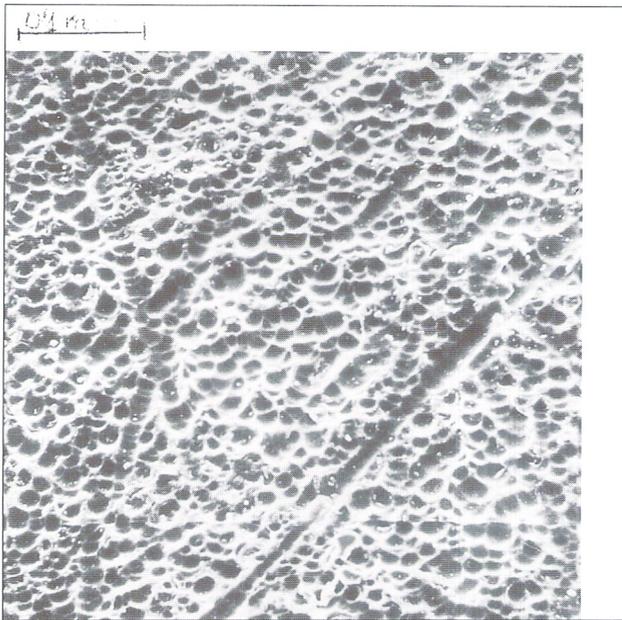


Figura 20 c: Muestra de vidrio aparecida en superficie en el entorno de los hornos 1 y 2.

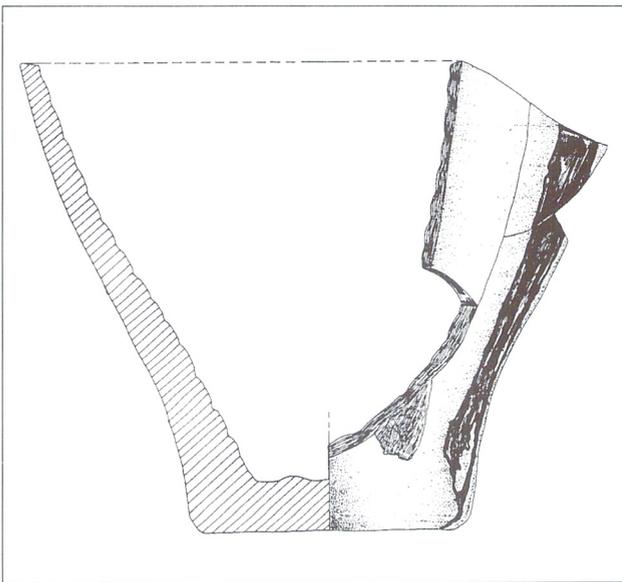


Figura 22.

VII.- COMENTARIOS FINALES

El tema de la producción de vidrios y sus colaterales es un tema difícil en Arqueología. Hay poca literatura al respecto y los restos que casualmente se descubren están bastante deteriorados e incompletos, por lo que se impone un meticuloso examen de los pocos restos estudiados y una comunicación e intercambio de incompletos resultados, a fin de recomponer entre todos aquel mundo de tanta importancia económica y cultural.

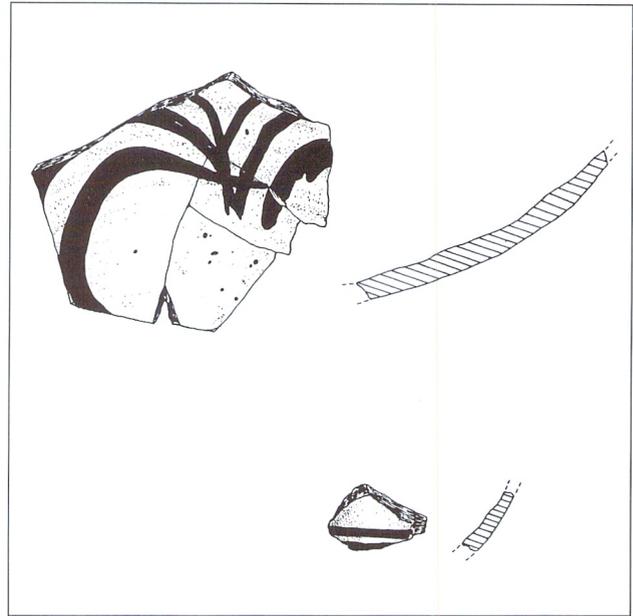


Figura 21.

Con independencia de un taller de cerámica árabe que los estudios de la tipología cerámica muestran, aparecen dos hechos incuestionables: la existencia de tortas de frita de hierro (fayalita) preparadas para el comercio (para el consumo local bastarían muestras como la n.º 4) y la ausencia de fritas de plomo. O bien es que faltan por excavar hornos donde estas plúmbeas fritas eran producidas, o bien estamos ante un comercio de colorantes en tortas para la industria del vidrio y/o barniz cerámico, de un modo similar al comercio del producto de la barrilla que James Howell nos describe en el siglo XVIII.

Sería interesante que las prospecciones que se realicen en el futuro nos permitiesen descubrir el asentamiento de un horno de soplado de vidrio. En lo que hasta aquí llevamos visto, lo único que puede asegurarse es que había vidrio de vasija, pero en trozos tan diminutos que puede ser material de desecho destinado a fabricar barniz. Nuestra opinión es que aunque no hay total evidencia, caben muy fundadas esperanzas de que en el entorno puedan encontrarse restos de horno de soplado de vidrio.

Y por último una consideración acerca de la oportunidad de los estudios físico-químicos de los restos. Su utilidad compensa de sobra sus costos, pero con ser éste un hecho indiscutible, hay que tener mucho cuidado con el modo de llevar a cabo estos estudios. Supongamos que un hipotético excavador de este yacimiento hubiese tomado por ejemplo, la muestra 4 (la muestra 6 es muy atractiva para proceder al sal-

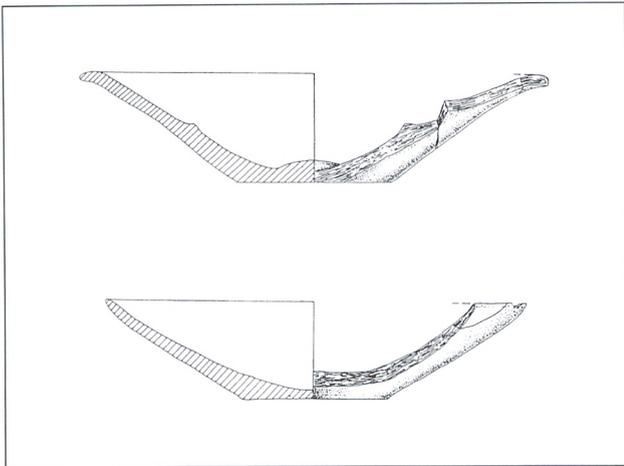


Figura 23.

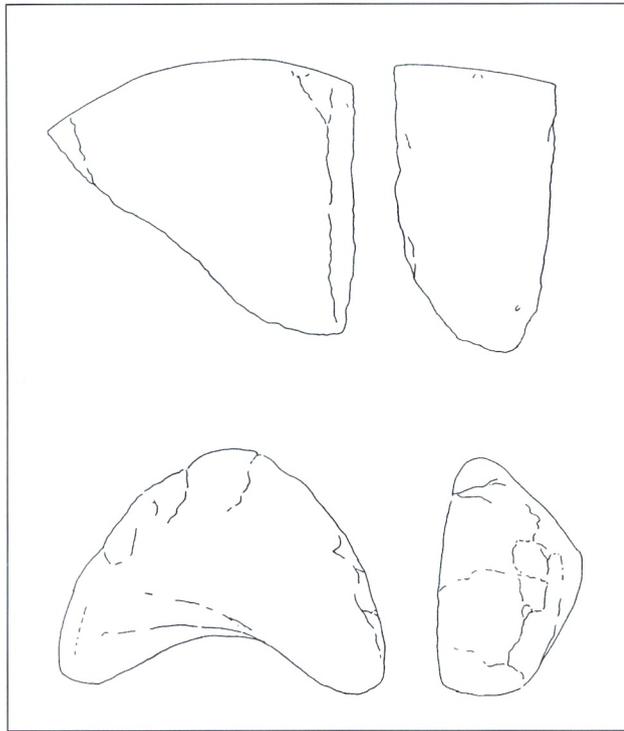


Figura 28.

vaje deterioro que puede implicar su estudio) y la hubiese enviado a analizar a un laboratorio diciendo que apareció en un horno próximo a un yacimiento de magnetita como es el Cabezo Gordo, el dictamen desde el laboratorio de análisis hubiera sido sin vacilación alguna "horno siderúrgico".

Las tomas de muestras deben ser realizadas en el yacimiento después de un cuidadoso examen del lugar y sus entornos por quien se vaya a encargar de la realización de los análisis y de la interpretación de los mismos.

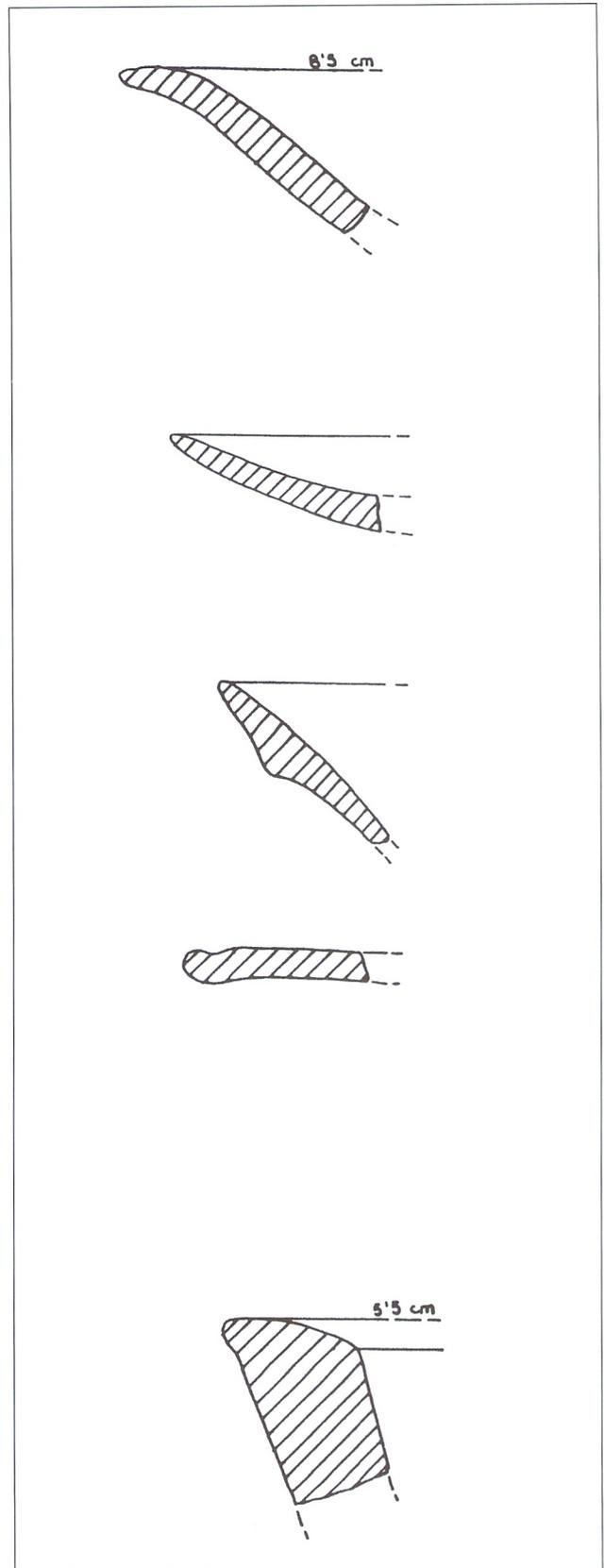


Figura 27.

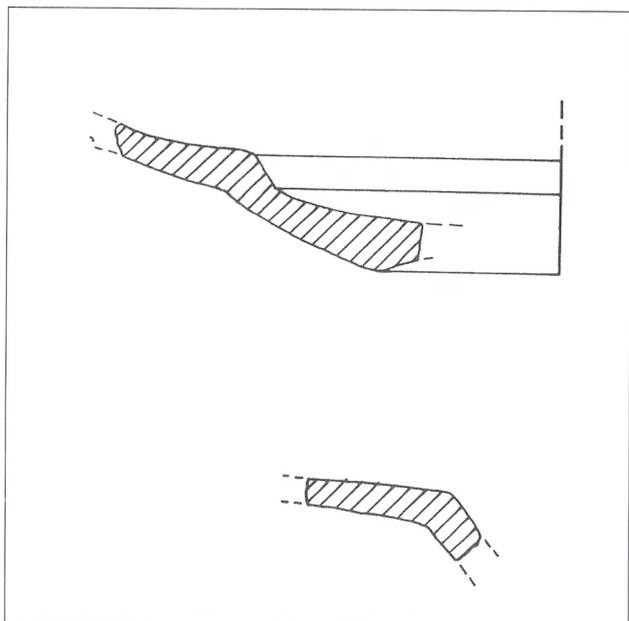


Figura 29.

NOTAS

- 1- R. F. Tylecote and J. P. Boydell, "Experiments on copper smelting based on early furnaces found at Timna", en el libro de B. Rothemberg, R. F. Tylecote and J.P Boydell, *Chalcolithic Coper Smelting. Excavations and Experiments*, Thames and Hudson, Londres 1978.
- 2- A. Madroñero de la Cal, "Estudio de una estatuilla de fayalita aparecida en Tricio (La Rioja)", *Caesaraugusta* 63, 1986, 181-203.
- 3- A. Madroñero de la Cal y M. I. Agreda Suescun, "Los hierros de la España prerromana", *Coloquio Internacional sobre las Minas y la producción de metales en las civilizaciones antiguas del área mediterránea y europea*, Madrid, octubre de 1985, vol, I, pp 109-118.
- 4- A. Madroñero de la Cal, "Estudio metalúrgico de algunas piezas del Museo Arqueológico Provincial de Murcia", *Ampurias* 45, 1987, 274-283.
- 5- A. Blanco Freijeiro y B. Rothemberg, *Exploración arqueometalúrgica en Huelva*, Ed. Labor, Barcelona 1981, p. 110.
- 6- R.J. Charleston, "Glass furnaces through the Ages", *Journal of Glass Studies* 20, 1978, 9-34.
- 7- P. Vandiver, "Glass Technology at the mid-second-millennium B.C. Hurrian site of Nuzi", *Journal of Glass Studies* 25, 1983, 239-247.
- 8- E. Thorpe, *Enciclopedia de Química Industrial*, Ed. Labor, Barcelona 1923, 669-702.