

# HORNOS DE FUNDICIÓN Y FUSIÓN EMPLEADOS EN LA METALURGIA ROMANA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA\*

*José García Romero*

*Universidad de Córdoba*

La complejidad del proceso metalúrgico en el mundo romano obligó a usar hornos diferentes de tostación, fusión y refinado, progresivamente más pequeños. Aunque las refundiciones de épocas contemporáneas han acabado con la casi totalidad de restos de hornos antiguos, aún quedan indicios que nos hablan de su diversidad.

The complexity of the metallurgical process in the Roman world made the use of different furnaces for roasting, melting and refining, necessary and these furnaces grew progressively smaller. Although modern re-smelting has destroyed almost all the ancient furnace-remains, there are still signs which point to their diversity.

Los hornos de tostación eran los *fornacies*, activados con tiro natural<sup>1</sup>. Los hornos de fusión eran los *camini*, activados con tiro artificial, que manipulaban los *flatores*<sup>2</sup>.

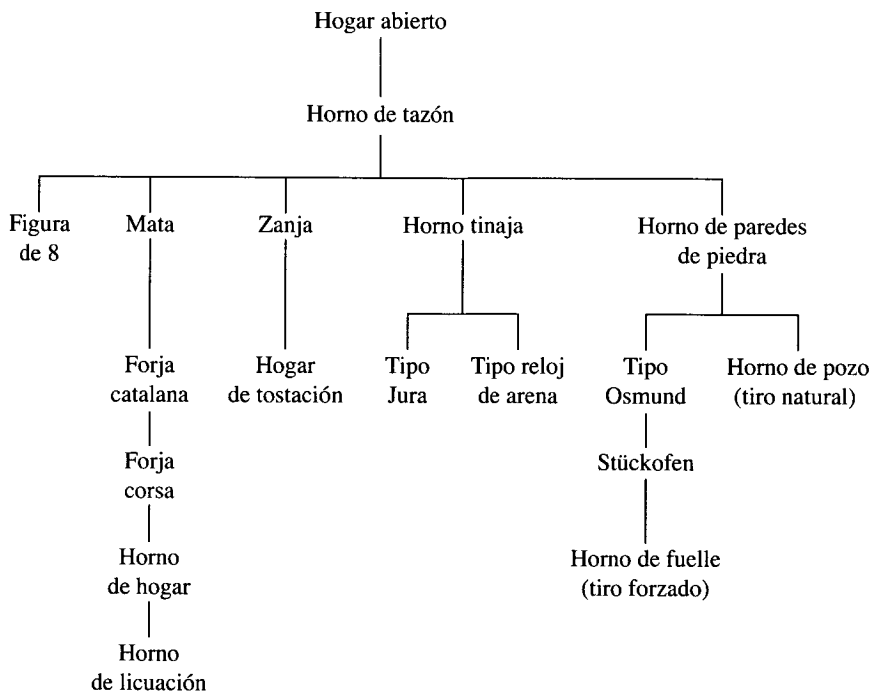
La clasificación de Healy<sup>3</sup> de los hornos metalúrgicos es la siguiente:

\* El presente trabajo se enmarca en la labor realizada por el Grupo de Investigación sobre *El medio rural en la Bética romana*, catalogado en el Plan Andaluz de Investigación con nº 0342HUM.

<sup>1</sup> R. Binaghi, *La metallurgia ai tempi dell'impero romano* (Roma 1946) 4.

<sup>2</sup> R. Binaghi, *op. cit.*

<sup>3</sup> J. F. Healy, *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World* (London 1978) 152, fig. 24.



Para hornos de hierro, la clasificación de hornos generalmente aceptada es la de Coghlan<sup>4</sup>, que puede hacerse extensiva a todo tipo de hornos metalúrgicos. Dicho autor identificó tres tipos sobre la única base de su morfología:

- A. El horno de tazón simple.
- B. El horno de cúpula o de tinaja.
- C. El horno de pozo.

Un horno metalúrgico tiene siempre dos partes esenciales: la caja de fuego u horno, donde se quema el combustible, y el hogar, donde se lleva a cabo la fusión. En los hornos antiguos estas dos partes son realmente una, salvo en los hornos de refino, donde el metal se refunde en un crisol.

**1. Hornos de hogar.**—Cuando tanto el combustible como los minerales, etc. están en contacto, hablamos de hornos de hogar y pueden ser de tazón o de pozo.

**a. Hornos de tazón.**—El horno de tazón es esencialmente un agujero en la tierra enlucido de arcilla, provisto de una tobera que introduce el aire impulsado por el fuele y lo sitúa sobre el hogar. En los hornos de tazón la altura del hogar

<sup>4</sup> H. H. Coghlan, *Prehistoric and Early Iron in the Old World*, Pitt Rivers Museum Occasional Papers in Technology 8 (1956) 86.

es igual o menor que el diámetro. El tipo más primitivo de horno de fundición parece haber sido el horno de tazón simple, sin embargo, como Coghlan mostró mediante experimentos, no produce temperaturas superiores a 750 °C y por tanto, es inservible para fundir el cobre a los 1.085 °C de temperatura que requiere. Aunque la simple reducción de minerales cobrizos, como óxidos y carbonatos, requiere temperaturas de 750-800 °C, para fundir mineral se usaron crisoles calentados en hogares, u hornos de tazón que trabajaron con la ayuda de fuelle.

Este horno de tazón se utilizó principalmente para la primera tostación, mientras que la fundición se hizo en una estructura más elaborada. Para conservar el calor, el labio superior del tazón podría curvarse hacia adentro, se perforaban agujeros en la base para colocar el tiro y recoger el metal fundido en el centro<sup>5</sup>. Este tipo de hornos, empleados sin fuelles, fueron utilizados ampliamente por los romanos para tostación<sup>6</sup> o reducción de menas sulfurosas (galenas, piritas y calcopiritas) a óxidos. Es probable que sean los *furnaces* que mencionan las fuentes.

En la provincia de Córdoba suelen alcanzar los cuatro metros de diámetro y dos metros de profundidad, como los de la Fuente del Rey (UH718340, en el mapa 1/50.000, nº 882, Cardeña) o El Sauzón (UH215424, en el mapa 1/50.000, nº 880, Villanueva del Duque). Su reconocimiento se efectúa gracias al azufre que impregna el revestimiento de arcilla. Este horno rinde unas cenizas casi totalmente desulfuradas que pasan a procesarse en el horno de fuelles<sup>7</sup>.

**b. Hornos de pozo.**—Los hornos de pozo son muy similares a los de tazón, pero en ellos la profundidad es considerablemente mayor que el diámetro.

Los hornos de pozo trabajaron con tiro natural y generalmente no alcanzaron temperaturas muy altas, pero pudieron utilizarse para tostar minerales, caleras, etc. Excavados en una ladera, se pueden adaptar a operación continua, alimentándose por la parte superior y retirándose el producto final por el extremo inferior. De esta tipología debieron ser los grandes hornos escalonados de la fundición de Doña Rama (TH997344, en el mapa 1/50.000, nº 879, Belmez).

**Hornos de reverbero.**—Los hornos que utilizan los gases de combustión para calentar el mineral se llaman hornos de reverbero. La formación de ciertos compuestos corrosivos durante la interacción del carbón, el mineral y las escorias, y las altas temperaturas reinantes en la zona de reacción son factores importantes en la vida de un horno. Los fundidores antiguos aún no habían entendido esto o fueron incapaces de tratar tales factores y, por tanto, los yacimientos metalúrgicos antiguos muestran abundantes restos de hornos defectuosos.

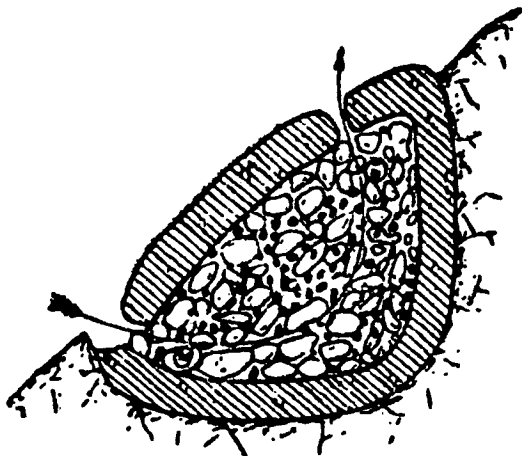
Gradualmente la experiencia les mostró cómo revestir las paredes de los hornos con ciertas piedras para combatir la corrosión, o incluso construir el horno

<sup>5</sup> R. J. Forbes, *Metallurgy in Antiquity* (Leiden 1950) 76-79, 577.

<sup>6</sup> O. Davies, *Roman mines in Europe. Ancient economic history* (Oxford 1935, R. New York 1979) 42.

<sup>7</sup> A. Madroño, "Metodología para el estudio hidromecánico de un lavadero de almagra y su relación con la metalurgia y la cerámica de la Edad del Bronce Final", *Caesaraugusta* 65 (1988) 77.

FIG. 1. Esquema de horno de pozo en ladera utilizado en minas romanas de Cerdeña (R. Binaghi, *op. cit.* 11, fig. 4). Como este modelo debieron ser los utilizados en la falda de Doña Rama, cuyo esquema representamos.



completo con tales materiales. Se pueden elegir materiales ácidos, como el sílex, el granito, la arena y arcillas refractarias; materiales refractarios neutros, como el grafito y la cromita; o materiales básicos, como la piedra caliza, dolomía, magnetita y bauxita. La opción depende de la naturaleza de la ganga del mineral. Así, un flujo ácido, provocado por ganga silíceas, requiere un forro básico del horno, que habrá de renovarse de vez en cuando.

Las paredes de piedra de los hornos de tinaja, como las de los de pozo de reverbero, consisten en un aparejo de piedras revestidas con arcilla refractaria, o bien en una obra de albañilería de ladrillo macizo. Por la erección de paredes de piedras alrededor del tazón que convergen en una chimenea, se desarrolló un horno de pozo; el tazón se convirtió en el hogar. El arte de la construcción de hornos de pozo de piedra, enlucidos con arcilla refractaria, vino a Europa del Mediterráneo oriental hacia finales de la Edad de Bronce.

**2. a. Horno de tinaja.**—Los hornos de tazón, como el de pozo, y fuelle desperdiciaban todo el calor que escapa de la zona de combustión y gran parte del metal formado se perdía en la escoria. Como solución a este tipo de inconvenientes, surgió el tipo de horno de tinaja con cúpula probablemente inspirado en los hornos de alfarero o panadero<sup>8</sup>.

Podemos asegurar que la mayoría de los hornos de refino de las fundiciones romanas cordobesas eran hornos de tinaja, cubiertos de una techumbre pétreas y revestidos interiormente de arcilla para conservar el calor. Como han sido vaciados en época contemporánea para aprovechar sus cargas, aún se ven junto a cada uno de ellos los montoncitos de las piedras que formaron sus paredes, o *in situ* se pueden ver esas paredes mismas en los hornos de la fundición de La Gargantilla

<sup>8</sup> R. J. Forbes, *op. cit.* 76-81, 577.

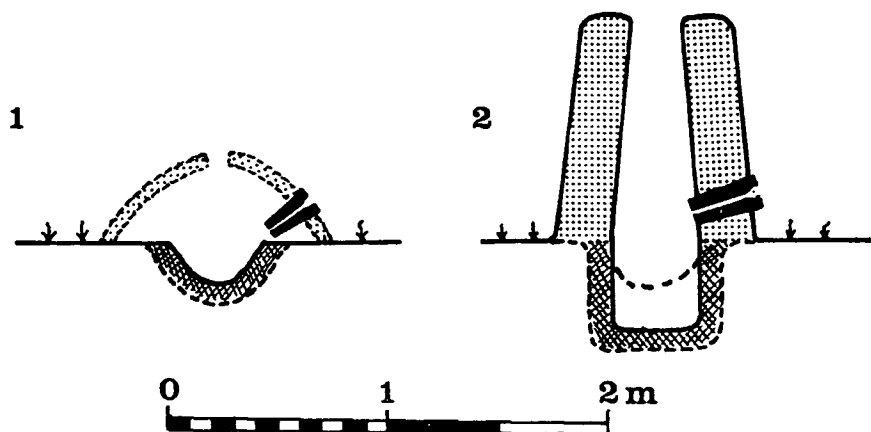


FIG. 2. Hornos de tinaja (H. Cleere, *op. cit.* 22, fig. 11) de los que se utilizaron en la Córdoba romana.

(UH345289, en el mapa 1/50.000, nº 880, Pozoblanco). La arcilla de los revestimientos internos y soleras aparece escorificada y fragmentada en las escombreras de todas las fundiciones y en los mismos hornos.

El horno de tinaja alcanzaba mayores temperaturas que el de tazón, por lo que fue el empleado para las fusiones. Podía disponer de sangrado de escorias. Las paredes de la cúpula de estos hornos se construyeron con zócalos de mampostería o sin ellos y sus fuegos se potenciaron mediante tiro natural o forzado. Se ve que este tipo de horno representa un avance tecnológico sobre el horno de tazón.

En primer lugar, la carga sobre la zona de reacción frente a la barrena de aire está protegida por una gruesa cúpula, formada por arcilla y piedra o por ladrillos. En segundo lugar, el resultado no está determinado por el volumen de carga original, ya que la naturaleza permanente de la cúpula la hace lo suficientemente rígida como para soportar la bajada progresiva de la carga a medida que avanza la fundición, y se puede añadir mineral y carbón adicional a través de la abertura principal. En tercer lugar, el fuelle no está a nivel del suelo, por lo que la escoria fluida se puede extraer, continua o intermitentemente. Ello supone que no es necesario apagar y encender el horno cada vez que se carga, sino que una vez fundida la primera carga se va extrayendo la escoria y se va recargando en fases sucesivas, ya que el trabajo del horno no se bloquea con la escoria<sup>9</sup>.

Los hornos de tinaja sin agujero de sangrado son los hornos de mata y obligan a la extracción mecánica de la escoria. Los hornos de tinaja con orificio de sangrado son los ancestros de la forja catalana<sup>10</sup> y en ellos la escoria sale al exterior por sí misma.

<sup>9</sup> H. Cleere, *op. cit.* 11-15.

<sup>10</sup> R. J. Forbes, *op. cit.* 80.



FIG. 3. Horno de fusión de El Viñón (UH173447, en el mapa 1/50.000, nº 880, Villanueva del Duque), manteniendo aún las primeras hiladas de la pared de su cúpula.

Desde el Bronce Final a época romana se emplearon hornos de mampostería revestidos de arcilla<sup>11</sup>. De acuerdo con Tylecote, podemos suponer que los hornos de fundición romanos alcanzaron a veces una altura superior a 1,5-2 m.<sup>12</sup>

La altura del horno, el tamaño y el número de las toberas constituían dos factores que, junto con la temperatura, controlaban el estado de oxidación en los hornos de tostación y la reducción en los hornos de fusión<sup>13</sup>. Los resultados de los experimentos con réplicas de hornos romanos llevados a cabo por Tylecote y Boydell demostraron que un cobre bueno, es decir, un cobre libre de hierro, sólo se puede producir en hogares de fusión poco profundos<sup>14</sup>.

Tres hornos romanos de tinaja se encontraron junto al arroyo Guijuelo, en Mestanza (Ciudad Real). A uno de ellos se le extrajeron catorce mil kilogramos de galena argentífera, con un contenido de mil quinientos gramos de plata por tonelada. El horno se hallaba excavado en un suelo de pizarra arcillosa, siendo sus dimensiones de unos cuatro metros de diámetro por dos metros de altura. Su interior contenía las cargas de mineral de plomo argentífero con sus lechos de combustible de leña y el fundente, sin haber sido todavía quemados. Se hallaba

<sup>11</sup> A. Blanco-B. Rothemberg, *Exploración arqueometalúrgica de Huelva* (Barcelona 1981) 106.

<sup>12</sup> R. F. Tylecote, *A History of Metallurgy* (London 1976) 53 ss.

<sup>13</sup> A. Hauptmann-G. Weisgerber, "Archaeometallurgical and mining-archeological investigations in the area of Feinan Wadi 'Arabh (Jordan)", *Ann. Ant. Jordan* 31 (1987) 432.

<sup>14</sup> R. F. Tylecote-J. P. Boydell, "Experiments on Copper Smeltings based on Early Furnaces found at Timna", *I.A.M.S.* 1 (1980) 27 ss.

interiormente revestido de arcilla y en la base presentaba, excavada en el terreno, una cazoleta o crisol para depositar y recoger el metal fundido. En la parte superior se revestía igualmente de arcilla, presentando forma de cúpula, como las actuales carboneras. Estaba cargado con lechos de mineral, alternantes con otros de leña. Las cargas de mineral en rama presentaban los trozos colocados abajo y el fino en la parte alta. A su vez las cargas de combustible estaban constituidas por tandas de trozos de madera de encina, de cincuenta a setenta centímetros de longitud, y sobre éstos una tanda de monte fino; encima, otro nuevo lecho de mineral y así sucesivamente. Se trataba de un horno de hogar interior, en cuyo recinto estaba mezclado el combustible con el mineral a tratar.

Como fundentes se utilizaban la caliza y el óxido de hierro. El aire necesario para la combustión era procurado por el tiro de la chimenea mediante los largos canales abiertos en el suelo.

De por sí los hornos estaban recubiertos de excelente material refractario, al ser excavados en la pizarra arcillosa, con objeto de que el calor no se perdiera por radiación a través de las paredes, pasando así el calor almacenado en los gases de la combustión al mineral depositado en forma de lechos. Una vez retiradas las escorias, en gran cantidad y sin refinar, se extraía de la cazoleta o crisol el metal de plomo argentífero, que era tratado aparte para la desplatación.

En las fundiciones de la época es frecuente que aparezcan hoyos de cuatro a seis metros de diámetro por dos metros de profundidad, que no son sino el resto de otros tantos hornos de tostación.



FIG. 4. Gran horno de tostación en las inmediaciones de La Loba (TH924421, en el mapa 1/50.000, nº 879, Fuente Obejuna).

A veces, hornos más pequeños que el descrito, probablemente de fusión, aparecen intercomunicados por medio de canales de tiro, dando lugar a lo que denominamos *campos de hornos*.

Dadas las dificultades para el refinado en hornos tan primitivos, gran parte del plomo quedaba retenido en las escorias, cuyo contenido en plomo, fundido en estas condiciones, suele ser del 16-23%. En algunas ocasiones, los fundidores romanos volvían a utilizar las escorias ricas en plomo como fundente, en el mismo horno, tal como ha sucedido en épocas más recientes, para aprovechar al mismo tiempo su contenido en metal<sup>15</sup>.

Este es el tipo de horno generalmente utilizado en la provincia de Córdoba durante la República o el Imperio para la fusión de minerales de cobre o galeñas, bien formando campos de hornos, con tiros intercomunicados, como los de Doña Rama (Belmez), el Ventorrillo del Fraile (UH342326, en el mapa 1/50.000, nº 880, Pozoblanco), Fuente Vieja (UH169030, en el mapa 1/50.000, nº 922, Villaviciosa); o escalonados en laderas, como los grupos imponentes de Doña Rama (Belmez), probablemente con agujero de sangrado de escorias, o los de la Fá-

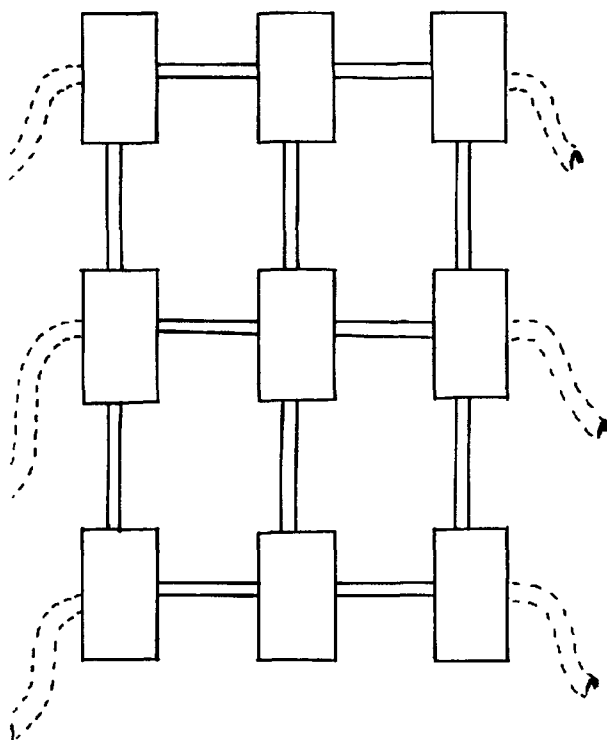


FIG. 5. Esquema teórico de una planta de un campo de hornos.

<sup>15</sup> E. Márquez Triguero, "Fundiciones romanas de Sierra Morena", *BRAC* 105 (1983) 225-227.





FIG. 6. Canal de conexión de hornos en el complejo de Fuente Vieja.



FIG. 7. Pequeño horno de fusión rectangular del campo de hornos de Ventorrillo del Fraile.

brica del Manchego (UH237413, en el mapa 1/50.000, nº 880, Villanueva del Duque).

Es verdad que hay pequeños hornos de fusión de planta circular, pero igualmente abundan los hornos de planta rectangular, de unas dimensiones aproximadas de 1,5 m. de longitud, 0,70 m. de anchura y 0,20 m. de profundidad, con paredes de piedra revestidas interiormente de arcilla o de ladrillos.

Con toda seguridad, se realizaba la tostación en los grandes hornos circulares de tazón o tinaja, y la fusión se efectuaba bien en los pequeños hornos circulares de tinaja o en esos pequeños rectangulares. Lo que no sabemos es a qué obedecen esas plantas rectangulares. Son hornos de reverbero y, dado su tamaño reducido, probablemente son hornos de refinado que trabajaron en serie y al unísono en plantas como las mencionadas, donde es frecuente que pasen de cuarenta.

La distinción fundamental entre los diferentes tipos de hornos se basaría no en su morfología general o en su tiro, sino en los sistemas para evacuar la escoria. Así Cleere<sup>16</sup> propone una nueva clasificación:

A. Hornos sin sangrado de escorias.—Son hornos que no están provistos de sistemas para ir retirando la escoria fundida. El hogar se sitúa más bajo que la superficie que lo rodea. Disponen de ventilación forzada.

A. 1. Sin superestructura (horno de tazón).

A. 2. Con superestructura cilíndrica o troncocónica.

B. Hornos con sangrado de escoria.—Son hornos que disponen de artificios para ir extrayendo la escoria fundida. Su hogar se sitúa más bajo que la superficie que lo rodea. Se recubren con una superestructura arquitectónica.

B. 1.1. Ventilación de tiro forzado con superestructura cilíndrica.

B. 1.2. Ventilación de tiro forzado con superestructura semiesférica.

B. 2.1. Ventilación de tiro natural con superestructura cilíndrica.

B. 2.2. Ventilación de tiro natural con superestructura cónica o semi-esférica.

La naturaleza fragmentaria de muchos restos de horno no permite una clasificación más compleja pero, al menos ésta, se puede realizar observando las características de las escorias<sup>17</sup>.

#### TIRO ARTIFICIAL

**Chimeneas.**—La chimenea era un canal horizontal o vertical que facilitaba y aceleraba la combustión en los hornos mediante la aireación de la carga. Se pueden ver los canales horizontales trazados en la base de los hornos, como los de Fuente Vieja de Villaviciosa, o los que unen los *campos de hornos* del esco-

<sup>16</sup> H. Cleere, *op. cit.* 8-23.

<sup>17</sup> H. Cleere, *op. cit.* 23.

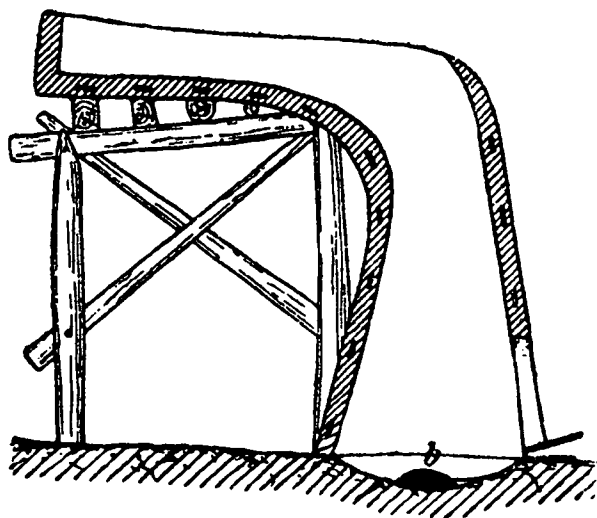


FIG. 8. Chimenea aplicada a un horno romano de Cerdeña (R. Binaghi, *op. cit.* 11, fig. 8) que podría ilustrar aquellas altas chimeneas hispanas de que hablaba Estrabón.

rial de Doña Rama (Bélmez). Los canales verticales se trazaban en el eje interior de los hornos y, en ocasiones, sobresalían más o menos por encima de las bóvedas de los mismos.

Cuanto más largo fuera el canal horizontal o cuanto más alta fuera la chimenea vertical, mayor tiro se producía en el interior del horno, más temperatura se alcanzaba y más rápida se efectuaba la combustión. Si el tiro era natural, sólo mediante los canales mencionados, no requería medios mecánicos y era fundamental la correcta orientación de los hornos, situando las entradas de sus tiros de cara a los vientos dominantes.

El horno romano de tinaja que se encontró junto al arroyo Guijuelo, en Mesanza (Ciudad Real) presentaba en su eje una chimenea vertical de unos veinticinco centímetros de diámetro, hecha de arcilla y, por encima del crisol, el conducto del tiro, hecho a modo de trinchera en el terreno, de treinta centímetros de anchura, que iba decreciendo con la distancia. La chimenea de arcilla se construía conforme se iban subiendo las tandas de mineral y de leña. Al desprenderse, por razones del estado interior del horno, quedaba intacto el tiro por el interior de éste<sup>18</sup>.

En Laurión, Britania y Galia las chimeneas eran bajas, en Hispania, muy altas, para elevar más los gases sulfurosos e impedir el envenenamiento de los obreros<sup>19</sup>.

Estrabón (Str. 3.2.8), refiriéndose a la práctica de la amalgama y la purificación del oro en Hispania, escribe: "Los hornos del mercurio los construyen ele-

<sup>18</sup> E. Márquez Triguero, *op. cit.* 226-227.

<sup>19</sup> J. Boulakia, "Lead in the Roman World", *AJA* 76 (1972) 141.

vados para que la fulígine que se desprende de los trozos del mineral se eleve en el aire, pues es pesada y nociva<sup>20</sup>. Binaghi representa un horno de tazón, activado con una tobera y tiro forzado, mediante una alta chimenea en ángulo recto, sostenida por un andamiaje<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Estrabón, *Geografía. Libros III-IV* (Madrid 1992), traducción de M<sup>a</sup> José Meana y Felix Piñero.

<sup>21</sup> R. Binaghi, *op. cit.* 11, fig. 8.