J. L. ROMAN DEL CERRO

EL ORIGEN IBERICO DE LA LENGUA VASC

EDIT. AGUACLARA TL: 96 5121675
ALICANTE

1ª EDIC. 1.993

V

LA PALEO-METALURGIA EN UNA MINA DE GALENA DE GÁDOR

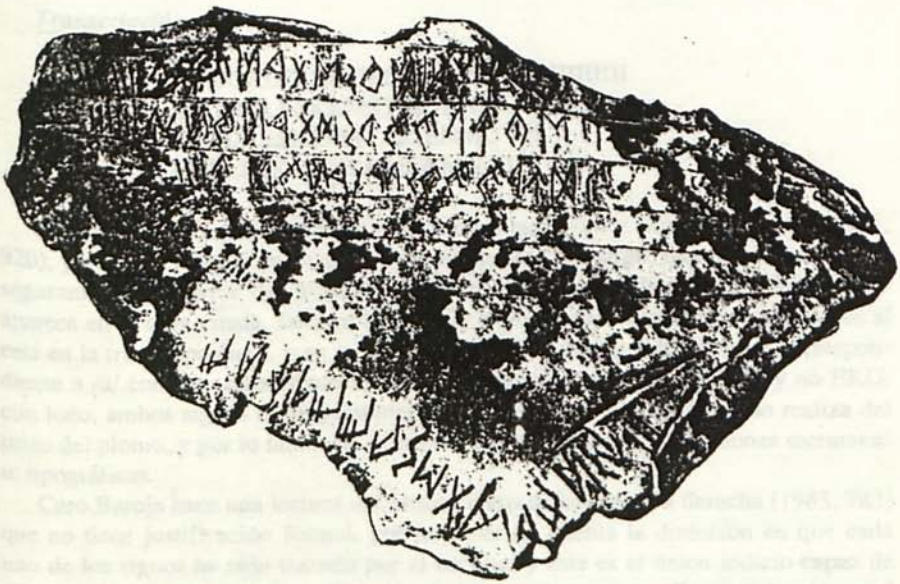
R- 6398

EXCMA. DIPUTACION PROVINCIAL
Biblioteca
ALMERIA

M. EL-OUASLIMI

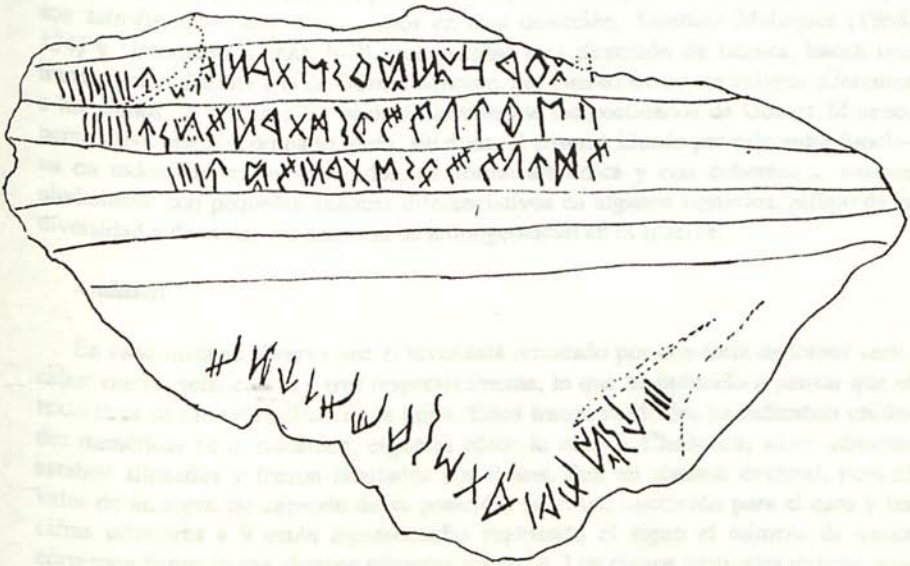
Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 1

En una mina de galena, el año 1862, se encontró en el barranco del *Rey*, sierra de *Gádor* (Almería), una pequeña plancha de plomo, de forma algo triangular, que mide 17,5 cm. en su parte más ancha, y 11 cm. de altura, siendo el grosor de 2,5 mm., aproximadamente, *(Lám. 50)*. El texto se grabó en la cara más lisa, previo trazado de seis líneas paralelas a todo lo ancho, sobre las cuales, a modo de pauta, aparecen incisos tres renglones de signos, dos líneas en blanco, y, al final, un último renglón, sin líneas, que contornea el pérfil irregular del plomo; este renglón está escrito en dirección contraria a los demás, como si se hubiera invertido la lámina de plomo al escribirlo. En cuanto a su antigüedad, Tovar opina que «Seguramente el plomo de Gádor compartirá la primacía temporal con las inscripciones del sudoeste» (1960, 14).



Lám. 50. El plomo de *Gádor*.

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 2



Lám. 50. El plomo de *Gádor*.

***Transcripción*:**

Línea 1ª: UDUORUDUINOMSTARIENMÜ IIIIIIIII
Línea 2ª: BISTEÜLESKEMSTARIENMÜ IIIII
Línea 3ª: EKOÜLESKEMSTARIENMÜ IIII
Línea 4ª: ENÜLESKEMSTARIENMÜ III

La transcripción que ofrecemos es la misma que Gómez Moreno propone (1961, 920), y con una lección de derecha a izquierda. Sin embargo, hay que advertir que, seguramente por error de imprenta, en la transliteración de Gómez Moreno que aparece en la obra citada, falta en la línea 2ª el signo correspondiente a /ü/ —que sí está en la transcripción—, y en la línea 3ª se omite tanto el signo ibérico correspondiente a /ü/ como su transcripción, debiendo leerse la secuencia EKOÜ y no EKO; con todo, ambos signos están presentes en el dibujo que Gómez Moreno realiza del texto del plomo, y por lo tanto, estos errores deben achacarse a cuestiones meramente tipográficas.

Caro Baroja hace una lectura del mismo texto de izquierda a derecha (1963, 782) que no tiene justificación formal, por no tener en cuenta la dirección en que cada uno de los signos ha sido trazado por el escriba; y éste es el único indicio capaz de dilucidar cuál es la verdadera dirección de lectura de un texto. Concretamente, en el plomo de *Gádor* podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que la dirección de lec-

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 3

tura es de derecha a izquierda, porque los signos correspondientes a I, BI, L —que son asimétricos— han sido escritos en esta dirección. También Maluquer (1968, 134) y Untermann (1990, 640), que aceptan esta dirección de lectura, hacen una transcripción distinta a la de Gómez Moreno, por cuanto atribuyen valores diferentes a los signos, lo que implica revisar fuertemente los postulados de Gómez Moreno, perspectiva que no comparto, pues, sin duda, el sistema ideado por este autor funciona en todos los textos conocidos, de forma armónica y con coherencia, aunque obviamente con pequeños matices diferenciativos en algunos signarios, reflejo de la diversidad y de la natural carencia de homogeneidad en el sistema.

***Análisis*:**

En cada línea se observa que el texto está rematado por una serie de trazos verticales: nueve, seis, cuatro y tres respectivamente, lo que ha inducido a pensar que el texto trata de la contabilidad de la mina. Estos trazos verticales ya indicaban unidades numéricas en el micénico, oigamos cómo lo explica Chadwick: «Los números estaban alineados y fueron tabulados por Evans. Son un sistema decimal, pero el valor de un signo no depende de su posición; no existe anotación para el cero y las cifras inferiores a 9 están representadas repitiendo el signo el número de veces correspondiente, como algunos números romanos. Los rasgos verticales indican unidades...» (1962, 70). Parece lógico pensar que estos trazos al menos tienen un valor numeral. Así mismo, cuenta Caro Baroja a propósito de la minería vasca que el carbón, una vez fabricado, se criba en un cedazo de mimbre y se mete en sacos. La cuenta de los sacos se lleva en tarjas muy rústicas, o sea, haciendo rayas en una caña para contar (1971, 172).

Línea 1ª:

UDUORU > *uduri* 'cisco, carbón muy menudo' en el alto navarro y en el labortano de *Ainhoa* (Azkue, 1984; Mujika, 1981). Curiosamente, los hornos vizcaínos tenían cuatro caras, y llamaban *iduri-jela* a una de ellas.

DUIN > *duin* 'justo, suficiente, ajustado' en vizcaíno (Michelena, 1990, 107); y en Azkue (1984) y Mujika (1981) 'medida justa, proporción justa'.

OM > *on* 'provecho, beneficio, ganancia, bien' en vasco, así en el refrán popular *bataren gaitzaz, besteak ona* 'del mal de uno otro saca provecho' (Azkue, 1984; Mujika, 1981). Michelena duda de que este término vasco provenga del latín *bonus*, afirmando que es difícil admitir relación entre *(h)on* y *bonus* (Bol. Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, Nº 17, 359).

S̲T, S̲T(A), S̲T(O) > *-zto* 'abundante, copioso' en el vizcaíno de *Lekeito, Mundaka* y *Tsorierri*. El morfema ibérico pudo presentar otra vocal que no fuera -A, pues aquí observamos más bien una contracción en S̲TARI, que pudo producirse como resultado de A+A, o bien de O+A, como se observa en *gogoanbe(h)ar* > *gogaibe(h)ar* 'sospecha, recelo' (Michelena, 1990, 120).

ARI > *ari* 'hilo' en vasco, pero con sentido más general que el de hilo de coser o hebra, pues, dependiendo del contexto, significa aquello que tiene la capacidad de

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 4

prolongarse; así se puede aplicar al 'hilo de la conversación', al 'carácter de una persona o hilo conductor de su comportamiento', a la 'veta o carácter familiar', a la 'intención', etc. (Azkue, 1984; Mujika, 1981); y si se refiere a la minería, ARI es la veta o filón de la mina o cantera, tal y como informa el diccionario de Mujika (1981), que es evidentemente el contexto que aquí tiene. Por último, cabe reseñar que en *Peña de la Majadas* se presenta con el alomorfo ARÜI.

EN > *en* 'de' (función de genitivo) en vasco. Michelena emparenta el ibérico EN con el genitivo vasco: «La interpretación de *-en* como sufijo de 'genitivo' no entraña ningún tipo de dificultad» (1979, 34). Así *gizon-en* 'de hombre' (Michelena, 1990, 137; Mujika, 1981).

MÜ > *muin* 'meollo, médula en vasco'. (Hay que tener en cuenta que en vasco muchas formas alternan con o sin *-n* final, lo que proporcionaría **mui*, que es la forma ibérica). Según Azkue, este morfema necesita siempre de otro «que concrete su significación» (*sub voce muin),* así en *Baztan,* cuando se refieren al 'meollo o tuétano de los huesos', dicen *ezurmuin,* (Azkue, 1984), es decir, 'aquello que está dentro o es el meollo del tuétano'; si se quieren referir al meollo de la cabeza, o sea, a los sesos, componen la palabra *burumuin* (Azkue, 1984); o como en el alto navarro, que para referirse al 'jugo de la manzana', a la esencia o extracto de la manzana, crean el compuesto *sagar-muin* (Mujika, 1981). Este autor atestigua la expresión bajo navarra *muiña kendu,* para expresar la acción de quitar el meollo de algo, 'desmeollar', en sentido genérico, e incluso acepta el significado general y abstracto de 'núcleo, esencia, compendio, resumen, sumario, extracto', como en las expresiones *muñera laburtu* 'reducir a lo esencial' y *korapilloaren muña* 'el punto esencial de la dificultad' (Mujika, 1981). Este significado genérico de 'meollo o extracto de algo' creo que es el que conviene al término, antes de que quede especificado su significado por el contexto. En el caso presente el contexto presenta el morfema de genitivo EN seguido del elemento a especificar STARI 'la veta rica o filón', por lo tanto, *muin* contextualmente significa 'el meollo o extracto de lo que se ha producido en la mina de la veta rica'.

El morfema vasco *muin*, como hemos dicho, toma la variante con *-n* final, mientras que el ibérico prefiere el alomorfo MÜ. Al respecto Michelena afirma que 'ciertos sufijos parecen haber poseído desde antiguo dos variantes, una con nasal final y otra sin ella' (1990, 137 y ss.), así contrapone: *-en,- e: on-e-gatik* y *on-engatik* 'a causa de esto»'; *-an, -a: neuka* y *neukan; zidi* y *zidin*; y las parejas como *orai* y *orain* 'ahora'; *ondore* y *ondoren* 'consecuencia'.

Conviene, por último, señalar que este texto confirma, una vez más, el valor del signo Y = Ü, por cuanto observamos que el vasco vocaliza en *-ui-* el fonema ibérico Y.

La segmentación y traducción apropiada de esta línea 1ª es UDUORU/DUIN/OM/ST-/ARI/EN/MÜ IIIIIIIII: 'Extracto de la veta rica. Aprovechamiento de las medidas de cisco, 9'.

Línea 2ª:

BISTEU > *biztu* 'encender' en vizcaíno, como significado diferenciado de *biztu*

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 5

'enardecerse', pues según Azkue *biztu* se aplica por ejemplo a 'encender luces', mientras que *bizitu* sólo al sentido vital (*sub voce bizitu*); también Michelena acepta la acepción de *biztu* 'encender', diferenciándola de *bizitu* (Michelena, 1957, 10).

LES > *leze* 'pozo, sima, abismo' (Azkue, 1984; Mujika, 1981); en el *Canto de Lalo* aparece la forma *leuso* 'caverna', y en el diccionario de Van Eys *lesuin* significa 'foso que sirve de cercado', en labortano.

KEM > *ken* 'quitar, extraer' en vasco (Azkue, 1984; Mujika, 1981). Michelena, además, opina que pertenece al fondo antiguo del vasco: «Palabras cuyo origen latino-románico está lejos de haber sido probado», y cita *ken* (1990, 217). Obviamente, si unimos los dos morfemas LES/KEM, como hace el texto, la traducción literal es 'extracción del pozo', en este caso de 'la mina'.

La secuencia fonológica, que sigue a los morfemas aquí analizados, STARIENMÜ, se ha descrito en la línea 1ª. La segmentación completa y la traducción correspondiente de la 2ª línea es BISTEU/LES/KEM/ST-/ARI/EN/MÜ: 'Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se quema, 6'.

Línea 3ª:

EKOÜ > *ekun* 'poseer, tener' en roncalés (Azkue, 1984; Mujika, 1981; Michelena, 1990, 84). En el sustantivo verbal derivado *ekoitze* 'producto, fruto' no aparece la *-n* final; y al respecto, acabamos de explicar la fluctuación de los finales con o sin *-n*. Michelena incluye este morfema en una lista de verbos antiguos (1990, 84), y Azkue lo define como 'producto de cualquier agente natural (efecto)' (1984).

El resto de la secuencia fonológica, es decir, LESKEMSTARIENMÜ se ha analizado en la línea 2ª. La segmentación completa y la traducción correspondiente es EKOÜ/LES/KEM/ST-/ARI/EN/MÜ, 'Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se produce, 4'.

Línea 4ª:

ENÜ > *emoi* 'entregar, poner en manos de', en vizcaíno, con las variantes *emon, eman, emai* siempre con el mismo significado (Azkue, 1984; Mujika, 1981).

El resto de la secuencia fonológica LESKEMSTARIENMÜ se ha analizado en las líneas anteriores. La segmentación completa de la misma y su traducción correspondiente es ENÜ/LES/KEM/ST-/ARI/EN/MÜ: 'Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se entrega, 3'.

Traducción íntegra del texto de Gádor:

Línea 1ª: Extracto de la veta rica. Aprovechamiento de las medidas de cisco, 9.
Línea 2ª: Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se quema, 6.
Línea 3ª: Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se produce, 4.
Línea 4ª: Extracto de la veta rica. Extracción (del material) de mina que se entrega, 3.

DIPUTACIÓN DE ALMERÍA BIBLIOTECA

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 6

Como se puede observar se trata de un balance de masas de la actividad metalúrgica. Este apunte de contabilidad es aplicable a cualquier tipo de actividad minera con horno, se trate como en este caso de la metalurgia del plomo, o bien de la metalurgia de otros metales.

Las cuatro líneas comienzan con la frase 'Extracto de la veta rica', que nos indica que estamos ante un sumario o balance de las masas que se emplean en la actividad desarrollada; es decir: la masa de carbón utilizada, la masa de mineral que se procesa en el horno, la masa de producto que se obtiene del tratamiento, y la masa que se entrega o vende. En un balance de masas actual faltaría, fundamentalmente, la cantidad de oxígeno empleada, así como una cuantificación de los gases que salen por la chimenea; estos dos elementos, naturalmente, en época ibérica no tienen interés, pues el oxígeno se aporta a través de fuelles accionados por esclavos, y las pérdidas, gases y arrastre de partículas sólidas, no se valoraban. Además, el texto informa de que este balance de masas está referido a la mina conocida por tener una veta rica en plomo.

La segunda parte de esta 1ª línea cuantifica el aprovechamiento de las medidas de carbón vegetal que, en forma de cisco, se utilizan en el horno. Si comparamos detenidamente esta redacción con la correspondiente de las otras líneas, salta inmediatamente a la vista que, excepto en la 1ª línea, en las demás se repite la frase 'Extracción del material de mina'. La respuesta a esta divergencia es muy clara, y sobre todo significativa, puesto que el carbón utilizado en aquellas épocas era el vegetal (procedente de las encinas, alcornoques, robles etc.), y, por tanto, no se extraía de la mina sino que se carboneaba a partir de leña, desconociéndose el uso de los carbones minerales, inexistentes, por cierto, en *Gádor*; la única masa que se extraía de la mina era el mineral de galena, y por ello el texto habla de 'Extracción del material de mina', sólo cuando llega el caso.

El texto ibérico especifica que el carbón vegetal que se utilizaba era en forma de cisco, y tanto por el conocimiento de los procesos paleo-metalúrgicos, como en la metalurgia actual, el carbón que se utiliza en estos hornos es, efectivamente, en forma de cisco.

La segunda línea informa del balance del material extraído de la mina para ser quemado, refiriéndose, pues, a la mena que va a ser procesada o tostada en el horno, es decir, la galena que junto al estéril se introduce en el horno.

La tercera línea cuantifica el producto obtenido tras el proceso descrito, que, en el caso de la galena, es el plomo fundido que se evacua del horno junto a las escorias.

Y en la cuarta línea se habla de la comercialización o entrega del metal.

La repetición constante de las frases STARIENMÜ y LESKEM hace pensar que nos encontramos con las frases habituales en cualquier contabilidad minera que utilice el calentamiento y la reducción del mineral en horno; por eso se emplean nombres generales, como 'material que se quema', y 'material que se obtiene', excepto cuando nombra el combustible, que suele ser el carbón.

A continuación describiremos las técnicas metalúrgicas antiguas del plomo, para que se pueda entender mejor este balance de masas que apareció escrito en la boca-

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 7

mina de *Gádor*, y, por último, haremos un análisis químico que confirme o rechace si las cantidades expresadas en el epígrafe ibérico son las correctas en este proceso metalúrgico de obtención de plomo, o no lo son; en caso de respuesta afirmativa, se habrá conseguido una prueba científica de que la traducción es la correcta.

El hombre prehistórico, probablemente, ya conoció y utilizó el plomo, que por una concatenación de hechos naturales y casuales se encontraba en la naturaleza. El proceso, en opinión de I. Marcelles, debió de ser el siguiente: las partes superficiales de los filones metalíferos, incluso en los sulfurados, como galenas, blendas, cinabrios, piritas, estibinas, etc. se descompusieron por la acción de los agentes atmosféricos, dando lugar a óxidos y carbonatos, cuya reducción es mucho más fácil. Si, por la acción de un rayo, se prendió fuego en el bosque o intencionadamente se quemó con leña un terreno mineral que tuviera carbonato de plomo o uno de sus óxidos, el resultado sería una jarapa de plomo. Este plomo, así obtenido, paulatinamente fue utilizado por el hombre primitivo, por su gran peso y maleabilidad. A la vez, el hombre observa el proceso por el cual estos filones metalíferos superficiales, algunos muy llamativos y extremadamente bellos, se convertían, por la acción del fuego, en una materia como el plomo. En realidad la metalurgia comienza cuando las necesidades de plomo van aumentando y el hombre recoge estas jarapas de plomo en un plato de barro, quemando leña sobre él. Cada vez se utilizan platos mayores, y por lo mismo más altos. Pero al crecer la altura del plato, la combustión se hace más difícil por falta de aire, advirtiéndose que, sin embargo, los días de viento funciona mucho mejor. El paso siguiente, lógicamente, es proporcionar una entrada directa de aire, practicando una ventana orientada con la dirección de los vientos predominantes en la zona y, a su vez, abrir otro orificio más abajo por donde salga el plomo fundido. Sin embargo, los días de calma el invento no funciona y no rinde, luego la consecuencia inmediata es la de forzar la entrada de aire. ¿Cómo? Evidentemente con fuelles. Pero, se ha observado, en esta zona minera de las sierras de *Almería* y de *Cartagena*, que en la metalurgia espontánea y popular, practicada en el siglo pasado, en bocamina, solucionaban esto recogiendo el aire con velas, al modo marinero; pues no hemos de olvidar que desde estas montañas se está dominando el mar. Se obtenían, por el procedimiento de la vela latina, 100 kg. de plomo al día. Técnicas, pues, diversas debió de experimentar el hombre primitivo hasta llegar a desarrollar el fuelle. Este rudimentario horno se instaló aprovechando desniveles del terreno que propiciaban una mayor altura, quedando el tragante en un nivel de fácil carga, e incluso tallándose la chimenea en granito, como es el caso de *La Carolina*. Al ir escaseando el mineral en superficie, comienza la minería de extracción. Las primeras minas son simples zanjas que siguen las sinuosidades de las vetas metalúrgicas. Ahora bien, al arrancar el material, se extrae con él una cantidad de ganga, que hay que eliminar separándola. El primer estrío es la separación por golpeo sobre una gran piedra o molino con otra más pequeña que se adapta a la mano. El polvo resultante de esta molienda es aventado, consiguiéndose con ello la primera criba. El segundo paso, y con una trituración más grosera, debió de ser el arrastre por agua. También, en esta zona minera, se usó, en el siglo pasado, una criba que no debía de diferenciarse mucho de las más primitivas: consistía en un cajón cuya base estaba

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 8

perforada con el fin de dejar salir el agua. Dos hombre sostenían por sus extremos un palo largo, con un soporte sobre el que basculaba el cajón. El mineral triturado se introducía en él y se le proyectaba una corriente de agua, a la vez que los dos hombres imprimían al cajón un balanceo, dando como resultado dos capas, en la de abajo se depositaba el mineral y encima el estéril.

Ahora bien, si nos referimos a las constataciones arqueológicas, el plomo extraído de los minerales se emplea en el Próximo y Medio Oriente, al final del IV° milenio. En *Susa* y *Sialk* se utiliza en aleación con el cobre, al 1 % de plomo; y el plomo solo, sin aleación, se usa para moldear vasos, copas, etc. (Tallon, 1987). Posteriormente, en *Ur, Khafadjé* y *Malyan* aparecen vajillas de plomo. En *Hissar* los artesanos utilizaban ya el cobre y el plomo. En *Tello* las 34 esculturas de figuritas están hechas con una aleación cobre-plomo, al 10,6 % de plomo, según los análisis de Malfoy y Menu. El origen del plomo que se utilizaba en Mesopotamia, según Tallon (1987) se encontraba en los yacimientos de galena de la región central de *Anarak*, en Irán.

En *Hispania*, la galena argentífera abundaba en numerosas minas de *Sierra Morena, Ilucro*, y *Carthago Nova* (Cartagena). Estas últimas fueron descritas por Polibio (Estrabón, 3,2,10): «Polybios, al mencionar las minas de plata de *Néa Karchedón*, dice que son muy grandes, que distan de la ciudad unos veinte estadios [casi 4 km.], que ocupan un área de cuatrocientos estadios [75 km.], que en ellas trabajaban cuarenta mil obreros y que en su tiempo reportaban al pueblo romano veinticinco mil drachmas diarias. [Y continúa hablando sobre]... lo que se refiere a la ganga argentífera arrastrada por una corriente, de la que, dice, se machaca y por medio de cribas se la separa con agua; los sedimentos triturados de nuevo y nuevamente cribados y, separadas así las aguas, machacados aún otra vez. Entonces, este quinto sedimento se funde y, separado el plomo, queda la plata pura». Y añade que en *Cástulo* y otros lugares la galena es muy pobre en plata. Siendo éste el caso de la mina de *Gádor*.

En el sureste de la península ibérica, en la fachada que da al Mediterráneo, se encuentra la única región minera del mediterráneo hispánico, ubicada en las estribaciones montañosas que descienden desde *Sierra Nevada* hasta el *Cabo de Palos*, en las provincias de Almería y Murcia. Las minas se sitúan en cortos cañones que caen directamente al mar, como la sierra de *Cartagena*, las colinas de *Mazarrón*, la loma de *Bas*, y las sierras de *Almagrera, Alhamilla* y *Gádor*. La región fue muy tempranamente explotada, ya que a la riqueza de los minerales se unía la cercanía al mar, lo que facilitaba el comercio por los puertos de *Cartagena* y *Almería*, entre otros. La galena argentífera es el mineral que fundamentalmente se explotaba en las minas, obteniéndose en algunas, filones muy ricos en plata, como en la mina de *Cabezo Rajado* (Murcia), siendo otras muy pobres en plata, como la mina de la sierra de *Gádor* (Domergue, 1990, 63), donde la explotación se dedicaba a la obtención de plomo.

El plomo, por su resistencia a la corrosión, se usaba en las conducciones de agua (Cochet-Hansen, 1986), y era indispensable en la construcción naval: para doblar la carena de los barcos (una nave de 25 m. de largo necesitaba 5 toneladas de plomo);

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 9

como chapas de protección que recubrían los cofres y amarres; para la confección de anillos de carga, plomos de sonda y diversas partes de las anclas (algunas utilizaban 2 toneladas de plomo). También la baja temperatura de fusión facilitaba su empleo en arquitectura, para sellar las grapas de bronce; y su capacidad de ser moldeado se utilizaba en orfebrería y fabricación de vasos y vierteaguas. En los museos de Jaén y Córdoba se pueden ver sarcófagos de plomo. Y en cualquier excavación de un pueblo cercano a las minas se encuentran en abundancia pequeños objetos de plomo de usos muy diversos: balas de honda, pesas de telar, diversos tipos de pesos, cucharas, lámparas, recipientes, bolsas, láminas para escribir, etc. (Domergue, 1990, 375). La exportación de los metales de Hispania era muy importante, como se ha dicho en repetidas ocasiones; en lo referente al plomo, para la fabricación de tubos y placas; así los barcos de todo el Mediterráneo utilizaban lingotes de plomo hispano para las reparaciones eventuales durante la navegación. Era también necesario para conseguir el conocido bronce de *Campania*, que necesitaba un 10 % de plomo en la aleación con el cobre.

Las técnicas de explotación minera debían solventar fundamentalmente la extracción del mineral, el lavado y trituración posterior, y la fundición del mismo. El mineral se rompía con la ayuda de picos y martillos, y la roca se atacaba también con fuego y vinagre, y, en su defecto, agua. El vinagre se consideraba que era un líquido muy frío, y por eso se le proyectaba sobre la roca caliente para deshacerla. Concretamente, en la sierra de *Gádor* se ha constatado el empleo de estas técnicas (Domergue, 1990, 414).

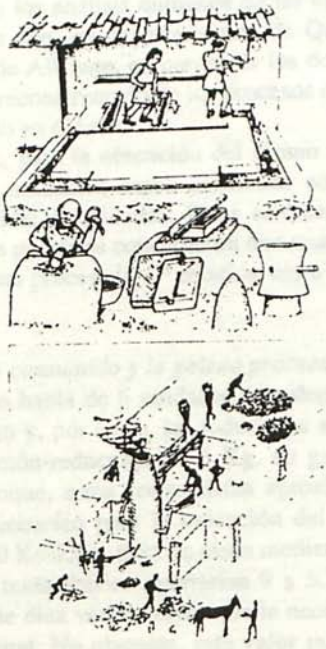
Este mineral había que elevarlo a la superficie bien tirando de un cable en el borde de la bocamina, cuyo roce abría unas ranuras en la piedra, como se ve en la mina de *El Francés* (Córdoba), o bien utilizando el torno, o el sistema más adelantado de las ruedas dentadas, que en opinión de Domergue, fue el más empleado en el sureste hispánico. El apuntalamiento de las minas se hacía utilizando pilares y vigas de madera; estas estructuras eran necesarias, ya que en el sureste algunas minas alcanzan con facilidad los 300 m de profundidad. Un problema que se presentaba adicionalmente era la evacuación del agua que se generaba en la mina, practicándose para ello sistemas de drenaje o galerías oblicuas, como afirma Diodoro, que se hacían en las minas de *Turdetania*. Este sistema fue muy utilizado por los romanos, pero según la opinión de Domergue probablemente fueron los iberos quienes lo inventaron, como se puede ver en la mina de *Arroyo del Cuezo* (Córdoba), que data de la edad de Bronce (1990, 434).

La preparación del mineral comenzaba con un minucioso desbrozamiento de la masa y posterior trituración, con la ayuda de morteros abiertos en la piedra o muelas de molino, conseguiéndose como resultado, en el caso de la galena, granos de 1 a 2 milímetros de diámetro (Mohen, 1990,185). Este mineral aún muy impuro se concentraba por gravedad a través de la operación de lavado, que se realizaba en unos canales con circuito cerrado de agua, que podía provenir, en caso de necesidad, del agua de lluvia; de este modo, las partículas más densas y pesadas del mineral de plomo se retenían, evacuándose la arena, calizas, etc.

El mineral purificado debía sufrir una reducción por fundición en un horno.

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 10

Conocemos su funcionamiento gracias a unos pocos escoriales que han sido excavados. Así, cerca de *Cabezo Rajado* (Murcia) aparecieron hornos de fundición de galena, estudiados por Ezquerra del Bayo (1850): eran de forma circular y estaban excavados en el suelo; los había de dos tipos, pequeños y grandes. Los pequeños medían 1,45 m. de altura por 0,70 m. de diámetro y los grandes 2,.0 m. x 0,60 m. Estos últimos tenían dos terceras partes enterradas en el suelo y estaban construidos con pequeños bloques, y provistos de agujeros para la instalación de fuelles. Las escorias y el metal fundido se evacuaban por delante. Según Domergue, los grandes hornos del sureste hispánico, en general, están equipados con chimenea (1990, 504). Hay que tener en cuenta que la salida de los humos era muy perjudicial, y aunque su orientación se hacía en función de los vientos dominantes, sin embargo, se producía un denso humo. Así Estrabón dice que «Los hornos de la plata se hacen altos, con el fin de que los vapores pesados que desprende la masa mineral se volatilicen, ya que son gases densos y deletéreos» (3,2,8). Este dato tiene su importancia para poder establecer la traducción del plomo de *Gádor*, como se verá más adelante. La *Lám. 51* representa el proceso de preparación del mineral y la reducción del mismo en un horno. Una vez reducido el mineral, salían éste, fundido, por un agujero practicado en la parte baja del horno, donde se recogía el plomo fundido y las escorias que salían también fundidas.



Lám. 51. Arriba, preparación del mineral, según Jones (1984); abajo, la reducción del mineral, según Conophagos (1980).

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 11

Parte esencial del proceso metalúrgico es la aportación del combustible, que en capas alternas era depositado en el horno con el mineral, ambos habiendo sido previamente molidos. Las dos funciones del combustible son el poder reductor y el poder térmico. En efecto, el combustible suministra, por una parte, la temperatura necesaria para que se originen las reacciones químicas y también la fusión de la ganga; y, por otra parte, actúa el carbono, que reduce los óxidos metálicos liberando el gas carbónico. Los diferentes poderes caloríficos de los distintos combustibles eran bien conocidos por los hombres prehistóricos, por eso preferían la leña dura de las encinas, robles, etc. La turba es superior a la madera, pero el carbón de madera posee el doble de poder calorífico en relación a la madera correspondiente. Por eso, se encuentra este carbón entre los más antiguos vestigios metalúrgicos. El carbón de madera fue el combustible más utilizado en la península, y, ciertamente, no le es ajeno a esto el que en la actualidad la sierra de *Gádor* esté totalmente desforestada y erosionada.

Una vez conocida la metalurgia del plomo en la antigüedad hispánica, pasamos a detallar los procesos químicos que concurrieron en la fusión del plomo en un horno ibérico. En primer lugar, debo agradecer la colaboración de los químicos de la empresa Peñarroya de fundición de plomo en *Cartagena*, especialmente de I. Marcelles, quien ha realizado los análisis químicos de las escorias ibéricas, y de R. Giribet, que en colaboración con los departamentos de Química Inorgánica y de Geología de la Universidad de Alicante, en particular los doctores M. Molina y A. Estévez, ha hecho posible la reconstrucción de los procesos de fusión en un horno de las características del utilizado en *Gádor*.

Según el epígrafe ibérico, para la obtención del plomo se utilizaba el siguiente balance de masas: cisco: 9 unidades; mena procesada en el horno: 6 unidades; producción de plomo obtenida: 4 unidades. Estas tres cantidades establecen dos relaciones fundamentales que podemos concretar en dos apartados: 1º Relación entre el cisco consumido y la galena procesada; 2º relación entre la galena procesada y el plomo obtenido.

1º Relación entre el cisco consumido y la galena procesada.

Dado que el texto ibérico habla de 6 unidades de galena empleadas, consideramos a estas unidades en peso y, por tanto, las reducimos a 6 Kg. de galena. Suponiendo un proceso de tostación-reducción de 6 Kg. de galena, desarrollado en la actualidad con carbón de coque, estos consumirían aproximadamente 4.800 Kcal. Estas 4.800 Kcal. se suministrarían para la oxidación del cisco. Si se estima una capacidad calorífica de 5.200 Kcal./kg. para un cisco medianamente carbonizado, las 9 unidades que comenta el texto ibérico aportarían 9 x 5.200 = 46.800 Kcal. Esta cantidad es aproximadamente diez veces mayor que la necesaria para conseguir una eficacia equivalente a la actual. No obstante, este valor puede ser razonable si nos atenemos a las siguientes consideraciones:

1ª Al ser más fácilmente oxidable el cisco que el carbón de coque, habría un consumo adicional de cisco en las partes altas del horno, antes de que actúe el carbón reduciendo el PbO (esta reducción es cinéticamente viable a temperaturas

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 12

superiores a 700 grados C.). Además, al tener el cisco un tamaño relativamente fino, aumenta considerablemente el consumo por su alta reactividad, mientras que el coque que se usa en la fundición actualmente se prepara en trozos de mediano tamaño, pues interesa que su reactividad sea lo más baja posible.

2ª Es esperable que el aprovechamiento de la energía en un horno de época ibérica sea inferior al actual; consideremos, a modo de ejemplo, el factor aislamiento térmico: el revestimiento de estos hornos tenía mucha mayor trasmisión de calor que los actuales ladrillos refractarios de sílice y alumina. Adicionalmente, los hornos ibéricos no recuperan los finos que acompañan a los gases de salida, y estos finos tienen una alta proporción de carbón, aproximadamente un 65 % en peso.

3ª Dado que el análisis de las escorias ibéricas da como resultado un contenido muy bajo en plomo, 2 % Pb, es obvio que, para conseguir unos rendimientos semejantes a los actuales, evitando que el plomo contenga azufre —lo que reduce notablemente sus propiedades—, los iberos tuvieran que hacer un consumo adicional e importante de carbón y de oxígeno, por lo que hay que suponer que en el proceso de tostación-reducción hay un exceso de PbO respecto al teórico para que se produzca la reacción, en una relación 1-2, por el exceso de aire, y paralelamente un mayor consumo de C.

$$SPb + 2\ PbO \rightarrow SO2 + 3\ Pb$$

En consecuencia, el exceso de PbO requiere más C para su reducción.

$$2\ C + 1/2\ O2 \rightarrow 2\ CO$$

$$PbO + CO \rightarrow CO2 + Pb$$

Esta última reacción química es fundamental para explicar el aumento de consumo energético, ya que se trata de la reducción del óxido de plomo por monóxido de carbono.

4ª El régimen del horno ibérico no pudo ser tan continuo como en la actualidad. Al no utilizar materiales refractarios, se aumentarían considerablemente las reparaciones del horno, implicando un régimen algo discontinuo; las inclemencias del tiempo, los derrumbamiento en la mina, el trabajo nocturno, si lo había en esta mina, obligaría a un acomodo del régimen a la demanda comercial de cada momento, que dependía fundamentalmente de la llegada a los puertos almerienses de barcos para su exportación. Esta posible discontinuidad en el régimen del horno implica tener que elevar la temperatura del horno a 980 grados, empleando en esta operación, aproximadamente, de dos a tres horas, en las que se consumía únicamente carbón. Además, para la parada de un horno, se debe de proceder a agotar el mineral existente en el mismo, de forma que sea factible encenderlo al día siguiente; en consecuencia, habría que continuar alimentando el horno únicamente con carbón.

Por todo ello, la relación entre el cisco vegetal consumido y la galena procesada, que el texto ibérico cuantifica en el balance de masas, con una relación 9-6 es razonable y adecuada.

Hasta aquí hemos tratado el tema en el supuesto de que la relación cisco consumido y galena tratada correspondan a unidades de peso. Cabría preguntarnos si el cisco estuviera contabilizado únicamente en volumen, mientras que la galena lo fuera en peso. De ser esto así, la cantidad de carbón que se habría utilizado habría

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 13

sido mucho menor que en el anterior supuesto, acercándonos a consumos de carbón no tan altos. En esta segunda hipótesis, el peso del cisco sería de 9 x 0,3 g/cm3 = 2,7 unidades de peso, equivalentes a 14.040 kcal. En un horno actual, trabajando en régimen continuo, se necesitarían 4.800 kcal, es decir, aproximadamente la tercera parte. Estas cantidades, sin duda, se acercan más a los consumos actuales, pero si tenemos en cuenta las diferencias comentadas en el procedimiento de trabajo, son obviamente cantidades muy pequeñas de consumo de carbón. Por tanto, nos inclinamos a pensar que las cantidades anotadas en el balance de masas del epígrafe ibérico deben corresponder a unidades de peso. Ahora bien, tanto en un supuesto como en el otro, la relación 9 de cisco por 6 de galena es una relación apropiada en el rendimiento energético de un horno ibérico.

El exceso de consumo de carbón vegetal en la minería ha sido una constante hasta tiempos no muy lejanos. Caro Baroja afirma en su estudio sobre la minería vasca que «el hierro se obtenía a base de cantidades fabulosas de madera carbonizada (...). Aún en los últimos años del siglo XVIII los ferrones de Cegama debían practicar este sistema, esquilmador de bosques y arboledas» (Caro Baroja, 1971, 187), y recoge la cifra para las ferrerías que fundían al modo catalán de que «para producir 100 kilos de hierro se llegaban a consumir hasta 463 de carbón vegetal» (190). Pero más patética es la situación forestal en la sierra de *Gádor*, y en Almería en general, que se encuentra en un proceso de desertización, siendo la zona de Europa más desforestada.

El hecho de que el epígrafe ibérico hable de cisco, y no de carbón en general, es muy significativo, dándonos idea de los conocimientos técnicos de aquella época, puesto que, según Kirk y Othmer, aún en la actualidad, el mejor combustible para un horno de llama es el cisco (1962, 712).

2º Relación entre la galena procesada y el plomo obtenido.

La relación de galena-plomo que el balance de masas cuantifica es una relación 6-4. Para verificar si este dato es pertinente en la metalurgia del plomo contamos con el valor que ha proporcionado el análisis de las escorias ibéricas, las cuales contienen un 2 % de Pb. Además, calculamos que la galena contiene un 70 % de Pb, puesto que el texto ibérico denomina a esta mina 'la veta rica', y, según, Kirk y Othmer «sólo los concentrados con un contenido elevado de plomo (70 %, o más) se consideran convenientes para la fusión en hornos de llama» (1962, 711). Según estos valores, si de 6 u.p. de galena al 70 % de Pb, se obtuviera una reducción al 100 %, es decir, en la hipótesis de que en la escoria no se encontrara ningún resto de Pb, y no existieran pérdidas por chimenea, obtendríamos el siguiente rendimiento teórico, 6 x 0,7 = 4,2 u.p.. Ahora bien, puesto que el valor del rendimiento del horno ibérico, proporcionado por el balance de masas, es de 4 u.p., el rendimiento del horno es de 4 : 4,2 = 95 %, sobre el teórico. El 5 % de Pb perdido se distribuye: en las escorias, 2 %; más el 3 % de pérdidas por arrastre mecánico por chimenea en forma de óxido. Lo que da, a la relación 6 u.p. de galena para obtener 4 u.p. de plomo, una verosimilitud cuantificada al 100 %; es decir, total.

En conclusión, podemos decir que la traducción del texto ibérico trata de un

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleo-metalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 14

balance de masas de una mina, y que esta hipótesis lingüística recibe el refrendo de los conocimientos científicos sobre la metalurgia del plomo y de los procesos químicos implicados, por cuanto la cuantificación de las masas que aparecen en el texto es la apropiada para un proceso de fundición de plomo como el descrito.

Diputación de Almería — Biblioteca. Paleometalurgia en una mina de galena de Gádor, La., p. 15