



# El yacimiento de Punta de Muros: un poblado de producción metalúrgica en el NO de la Península Ibérica

JUAN A. CANO PAN\*  
FERNAN GÓMEZ FILGUEIRAS DE BRAGE\*\*

## Sumario

La excavación integral de un poblado fortificado datado entre los siglos IX –VI a.n.e., se realizó a partir de las obras de construcción del Puerto Exterior de Punta Langosteira (A Coruña). Este poblado que presentaba una estructura urbana y unas tipologías arquitectónicas novedosas en este contexto geográfico y cronológico se caracteriza por ser una factoría fortificada dedicada a la metalurgia del bronce.

## Abstract

The comprehensive excavation of a fortified village dating from the transition between Final Bronze and Early Iron Age (IX-VI centuries B.C.) took place due to the building works of the outer harbour at Punta Langosteira (Corunna). This village, showing a striking urban structure and architectural typology for this geographic and chronologic context, was characterised by being a fortified factory dedicated to bronze metallurgy.

## INTRODUCCIÓN

Las obras de construcción del puerto exterior de Punta Langosteira (A Coruña) contemplaban la excavación de un pequeño recinto fortificado, que en el archivo de yacimientos arqueológicos de la Xunta de Galicia se conocía como Castro de Cociñadoiro y que los habitantes del lugar identificaban el lugar como Punta de Muros. El yacimiento arqueológico por su ubicación y aspecto superficial parecía que estaba bastante degradado, lo que se constataba en la correspondiente ficha del mencionado archivo.

Dado que se trataba de la excavación integral metodológicamente se optó por excavar, desde una visión sincrónica, la totalidad del yacimiento, siguiendo por tanto la secuencia de ocupación del mismo. En un inicio se procedió por despejar por completo los niveles superiores de sedimento, dejando «*in situ*» el conjunto de vestigios que conformaban los niveles de derrumbe de las cabañas y su posterior arrastre. Este planteamiento permitió correlacionar las distintas unidades estratigráficas, dentro del poblado, permitiendo secuenciar las fases de transformación de esa superficie, desde el inicio de su ocupación hasta nuestros días, con los desplazamientos parciales de partes de los restos de las cabañas, o la degradación de las mismas.

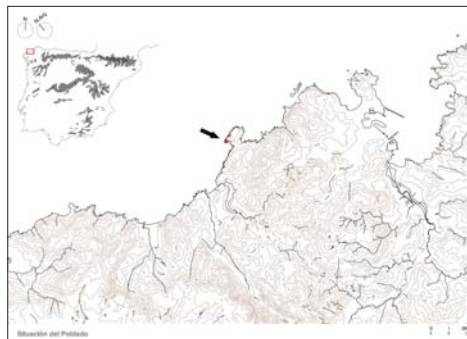


Fig. 1.- Situación del poblado.

\*Arqueología do Noroeste, SLU (juan.cano@arqueonor.net)

\*\*Profesor titular: Ciencia de los materiales e ingeniería metalúrgica. Universidade da Coruña.

Por último una vez excavados la totalidad de los niveles arqueológicos se procedió a desmontar las distintas estructuras, reservando una serie de ellas, las más representativas y mejor conservadas del poblado, para su posterior reubicación en un centro de interpretación.

El poblado de Punta de Muros se ubicaba en una punta sudoccidental de la Península de Langosteira, a unos 6 Km. al Oeste de la ciudad de A Coruña. Geomorfológicamente su ubicación se corresponde con un pequeño saliente rocoso con fuertes acantilados hacia el mar, salvo un pequeño istmo al Nordeste, que lo comunica con el resto de la Península. El saliente está expuesto a los fuertes vientos dominantes en la zona, cuya dirección NE, tiene rachas que llegan a sobrepasar los 100 km/h. La superficie del saliente bascula ligeramente en dirección mayoritariamente Sudeste para descender con un fuerte acantilado en todo el contorno del poblado, salvo en el norte, que el proceso erosivo conformó en una rampa, que si bien es acusada y accidentada, es accesible.

El paleopaisaje durante la fase de ocupación del poblado presentaba un aspecto diferente ya que a un nivel de mar, que estaría en torno a los 5 metros por debajo del actual habría que unir amplios arenales que definirían una parte importante de borde costero.

#### SECUENCIA DE LA OCUPACIÓN Y SU CRONOLOGÍA

La superficie en la que se localizaba el yacimiento no reunía una propiedades edáficas, debido a la fuerte exposición a factores erosivos, propicias para la formación de suelos desarrollados. Los suelos presentes eran leptosoles y de forma muy puntual regosoles úmbricos, que son muy poco adecuados para la conservación de vestigios arqueológicos estructurados estratigráficamente.

Teniendo en cuenta las diferentes unidades estratigráficas identificadas se individualizaron distintos bloques estratigráficos, en función de las cabañas y los espacios exteriores. La muralla por su parte se subdividió en sectores cada uno de los cuales agrupó un bloque estratigráfico. Con estos bloques estratigráficos se articularon secuencias más generales, en las que se incluyeron los vestigios relacionados con determinados momentos, en el marco de una diacronía corta, en unos casos y de una sincronía larga en otros.

El resultado final es una secuencia que documenta escenarios bajo la visión de una diacronía más o menos corta que articula las distintas escenas interpretativas del comportamiento social dentro del poblado y su proceso en el tiempo.

Durante la excavación se detectaron algunas anomalías puntuales en la secuencia. Las más evidentes se derivaban de las alteraciones y remociones provocadas por los impactos de proyectiles de artillería durante la utilización de esa superficie como campo de tiro. Estas alteración afectaron a los niveles sedimentarios mezclando sedimentos de ocupación derrumbe y superficiales.

La homogeneidad en textura y coloración del paleosuelo, el nivel de ocupación y los rellenos bajo la capa vegetal supuso que en algunos casos no se diferenciara claramente los sedimentos removidos de aquellos no alterados tras la ocupación del poblado, así se explica la presencia en las zonas puntualmente removidas de materiales modernos teja normalmente y en algún caso de época antigua pero postocupacional como algunos fragmentos de época romana, aunque normalmente estos aparecen entremezclados con los niveles de derrumbe.

El total de momentos que de una u otra forma se produjeron en la superficie donde estaba el yacimiento se puede resumir en la siguiente síntesis de secuencia:

- 1.- Capa vegetal y sedimentos moderno / contemporáneo.
- 2.- Nivel de derrumbe y puntualmente de ocupación removido por actividades antrópicas recientes, (fosas por la detonación de diversos proyectiles).
3. Niveles de ocupaciones secundarias.
  - 3.1. Fase Histórica reciente.
  - 3.2. Fase galaico romana, que puntualmente pudieron afectar a niveles de ocupación antiguos.
- 4.- Fase de post-ocupacional y nivel de derrumbe
  - 4.1- Rellenos postabandono, se corresponden con la fase inmediatamente posterior al abandono del poblado en la que se produce un relleno sedimentario, producto del colapso de la cubierta y partes no pétreas de las cabañas, anterior por tanto al derrumbe generalizado del basamento pétreo.
  - 4.2.- Sedimento de derrumbe ligeramente desplazado por el sedimento de ladera.
  - 4.3.- Fragmentos de estructuras desplazados con el paquete sedimentarios, pero que mantenían su composición estructural.
  - 4.4.- Sedimento de derrumbe «*in situ*».
5. Fase ocupación.
  - 5.1.
    - a) Rellenos pavimento ocupación,
    - b) Rellenos de fosas,
    - c) Rellenos estructuras de combustión.
  - 5.2. Sub fase actividad 3: Reformas estructura delimitadora.
    - a) sedimento que conforma el parapeto,
    - b) Contrafuertes.
    - b) muros anexos a la muralla
  - 5.3. Subfase actividad 2:
    - a) Reformas y ampliación del espacio interior construido.
  - 5.4. Subfase actividad 1.
    - a) suelos de ocupación
    - b) Restos actividades metalúrgicas.
    - c) Vertidos (conchero)
    - d) Estructuras de combustión.
    - e) Fosas,
    - f) Rebajes en el substrato.
- 6.- Nivel de construcción.
  - 6.1. Acabados
    - a) Muros anexos estructuras.
    - b) estructuras pétreas auxiliares, bancos corridos, alineaciones de piedras, cuñas, enlosados.
    - c) Estructuras de combustión.
  - 6.2. Estructural
    - a) zócalo basamento de los muros.
    - b) Calzos y huecos de poste.
    - c) Muralla.
- 7.- Paleosuelo
- 8.- Substrato rocoso.

El encuadre cronológico del yacimiento se base en un conjunto de 24 dataciones por C<sup>14</sup>, sobre carbón vegetal, distribuidas por todo el poblado. De esta serie de dataciones, 21 se pueden englobar en 3 grupos coherentes y en un subgrupo, que marcan las fases principales del poblado:

Grupo 1: formado por 4 dataciones que marcarían los inicios de la ocupación en el Siglo VIII / VII sin calibrar y calibradas se situarían en el Siglo IX.

Nº referencia	Muestra	C <sup>14</sup> no calibrada	C <sup>14</sup> calibrada 1sigma
PEC 8429	Ua 34778	2.710± 40 B.P.	896 – 823 B.C.
PEC 8486	Ua 34787	2.660± 35 B.P.	837 – 798 B.C.
PEC 8407	Ua 34776	2.620± 40 B.P.	821 – 781 B.C
PEC 8444	Ua 34782	2.6 20± 35 B.P.	816 – 786 B.C

Grupo 2: formado por 11 dataciones que se corresponde con el apogeo del poblado en el siglo VI, sin calibrar y calibradas entre el siglo VIII y mediados del VI.

N ° referencia	Muestra	C <sup>14</sup> no calibrada	C <sup>14</sup> c calibrada 1sigma
PEC 8455	Ua 34786	2.555± 35 B.P.	799 – 596 B.C.
PEC 8347	Ua 34773	2.550± 35 B.P.	797 – 594 B.C.
PEC 8529	Ua 34791	2.510± 35 B.P.	770 – 550 B.C
PEC 8425	Ua 34777	2.500± 35 B.P.	765 – 546 B.C
PEC 8353	Ua 34744	2.495± 35 B.P.	764 – 544 B.C.
PEC 8432	Ua 34779	2.485± 40 B.P.	760 – 539 B.C.
PEC 8354	Ua 34775	2.485± 35 B.P.	760 – 540 B.C
PEC 8536	Ua 34793	2.480± 35 B.P.	756 – 539 B.C
PEC 8513	Ua 34790	2.480± 35 B.P.	756 – 539 B.C.
PEC 8447	Ua 34784	2.480± 35 B.P.	756 – 539 B.C.
PEC 8345	Ua 34772	2.480± 35 B.P.	756 – 539 B.C

Grupo 3: formado por 4 dataciones, que se corresponden con la fase final del poblado, que se ubicarían en el siglo V tanto sin calibrar como calibradas.

Nº referencia	Muestra	C <sup>14</sup> no calibrada	C <sup>14</sup> calibrada 1sigma
PEC 9647	Ua 34794	2.395± 35 B.P.	511 – 402 B.C
PEC 8532	Ua 34792	2.385± 35 B.P.	509 – 399 B.C
PEC 8451	Ua 34785	2.375± 35 B.P.	507 – 396 B.C.
PEC 8498	Ua 34789	2.375± 35 B.P.	507 – 396 B.C.

Subgrupo 2/3, formado por dos dataciones una del siglo VI y otra del V, pero que calibradas abren un abanico entre el siglo VIII y V.

Nº referencia	Muestra	C <sup>14</sup> no calibrada	C <sup>14</sup> calibrada 1sigma
PEC 8433	Ua 34780	2.460± 40 B.P.	751 – 419 B.C.
PEC 8496	Ua 34788	2.425± 35 B.P.	706 – 409 B.C.



*Fig. 2.- Plano general del poblado.*

Las 3 dataciones restantes se alejan de esta coherencia y se están analizando las causas.

Según este marco cronológico, el inicio de la construcción del poblado se situaría en la transición entre el siglo X y IX, para alcanzar la fase de máxima ocupación y actividad entre los siglos VIII y VII, en los que el poblado ya estaría configurado como tal.

#### CARACTERÍSTICAS DEL POBLADO

La superficie del poblado ha sufrido intensos procesos postdeposicionales que han afectado de forma diferencial al yacimiento. Estos procesos que han supuesto la desaparición de parte o de la totalidad de algunas estructuras, debido, tanto por la trasgresión marina, como al proceso erosivo derivado de la dinámica de ladera, no han desvirtuado, de todas formas, las características principales del poblado.

En su conjunto, el poblado se caracteriza por tener un urbanismo organizado en la que construcciones y espacios libres se articulan entre sí. Estructuralmente se compone de una estructura delimitadora y una serie de cabañas, en su interior, que definen el espacio construido habitacional, con la piedra como un elemento esencial de la técnica constructiva. Además de la propia organización estructural destaca la tipología de algunas edificaciones, que encajarían entre las denominadas «longhouses», que son características del norte y centro de Europa y de las que también se han localizado algunas muestras en el interior de la Meseta de la Península Ibérica.

La muralla que representa la estructura delimitadora se restringe al estrecho istmo que se conforma aprovechando dos grietas acentuadas por la erosión marina y cierra el único vínculo del pequeño saliente con el exterior del recinto. En el resto de la periferia del



*Fig. 3.- Foto aérea del poblado.*



*Fig. 4.- Ejemplo de cabaña.*

poblado los límites se definen por el accidentado cantil rocoso, que por la progresiva trasgresión marina, ha venido reduciendo la superficie original del poblado

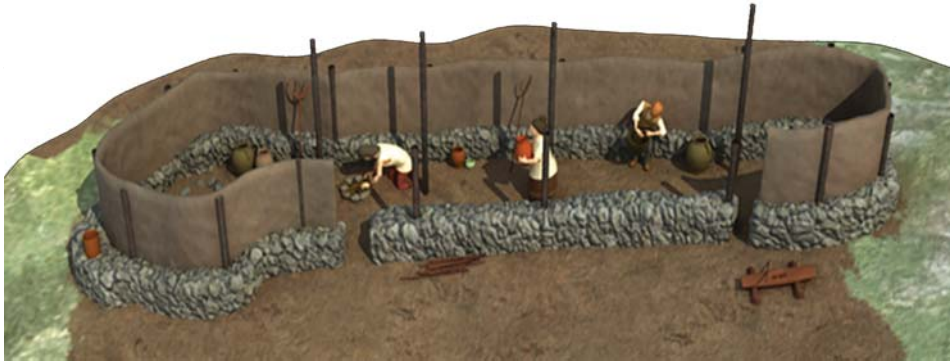
Esta estructura delimitadora sufrió un proceso de reforzamiento y transformación que se puede sintetizar en tres momentos:

- Momento inicial con una muralla con un lienzo exterior y el interior dispuesto en gradas, que no tenía cimentación. Esta falta de cimentación unida a la configuración de la superficie sobre la que se levantó favoreció la existencia de fuerzas centrífugas en su interior haciéndola inestable.

- Esta inestabilidad llevó a que se reforzara en un segundo momento mediante tres contrafuertes, dispuesto transversalmente apoyados al lienzo exterior.

- En un tercer momento, al no solucionarse el problema y ya en el inicio del proceso de colapso de la estructura se opta por parapetizar la totalidad de la estructura mediante un relleno exterior.

En el interior el espacio construido interior se articulaba adaptándose a la topografía del terreno, disponiendo las estructuras, en ligeros banales, con su eje mayor orientado de forma transversal al de la muralla/parapeto y al sentido general de la pendiente. En el plano de planta del poblado se aprecia la clara planificación y utilización ordenada del



*Fig. 5.- Reconstrucción de una cabaña.*

espacio, con estrechas calles que permiten la circulación entre las cabañas. Las calles que lógicamente siguen un entramado regular se abren en ocasiones conformando unos espacios abiertos a modo de plazas. La disposición de las cabañas y las áreas de circulación, unida a que los accesos a las mismas se orientan hacia el sudeste garantizan una importante privacidad entre las cabañas e incluso entre los distintos espacios comunes.

El poblado se puede estructurar en tres zonas o barrios que se definen claramente por la topografía interna, así como por las propias características de las cabañas y por la funcionalidad de dichas zonas. Estas tres zonas se denominaron como barrio bajo (sector Sudoriental del poblado), barrio medio (sector central) y barro alto (sector Noroccidental).

Constructivamente las cabañas se caracterizan por tener un pequeño muro irregular que funcionalmente se articularía como un zócalo, normalmente a doble cara, que serviría estructuralmente de soporte o refuerzo de una estructura de materiales perecederos que definirían, en alzado, las estructuras arquitectónicas. El tipo de material pétreo utilizado es el propio de la zona. El más abundante es un granito de baja calidad, combinado ocasionalmente con esquistos y cuarzos. Las piedras se utilizan sin preparación, seleccionando bloques del tamaño y forma deseada que como mucho cuentan con un leve trabajo de desbastado para adaptarse al uso requerido.

De las cubiertas no se ha conservado ningún vestigio, por lo que se deduce que se formarían de elementos vegetales. En los agujeros de poste hallados en los interiores de las cabañas se hincarían los elementos interiores sustentantes de las cubiertas.

Los accesos a las construcciones siempre se orientan hacia el Sur y los espacios interiores de las cabañas se acondicionan con una capa de sedimento pisado que ejerce la función de suelo. En algunos casos, como se ha documentado en la estructura XII, las irregularidades del substrato se intentan nivelar con un relleno anterior de sedimento y cascajo. Únicamente en la estructura XX, totalmente diferente del resto, constructiva y funcionalmente, se ha documentado con seguridad un suelo enlosado en el espacio interior.

Anexas a las cabañas aparecen una serie de estructuras, de combustión, fosas, huecos de poste, etc... que completan el espacio construido. La finalidad de estas estructuras no siempre está clara, ya que si bien en algunos casos se podrían corresponder con porches y pequeñas prolongaciones en las cabañas, otras conformarían estructuras aisladas, cuya morfología y funcionalidad no es posible precisar. Las fosas, que morfológicamente presentan una gran variabilidad, en una buena parte de los casos están dedicadas a tratamientos metalúrgicos y algunas de las mismas se corresponderían con fosas de refusión, otras posiblemente estén relacionadas con los hornos de producción metálica y transformación de las materias primas.

La interpretación inicial del poblado como factoría de productos metálicos tuvo lugar durante el proceso de excavación pues, desde un primer momento, se detectaron una serie de estructuras que no concordaban con actividades de tipo domestico sino que estaban asociadas a actividades de tipo pirotécnico.

La posible funcionalidad de las mismas, aunque que estaba claro su carácter productivo, se fue despejando conforme avanzaban los trabajos de excavación y aparecían nuevas evidencias que las vinculaban, al menos a una parte de ellas, con actividades relacionadas con la obtención y trasformación de metales. Tras obtener las analísticas de las muestras seleccionadas y después de un estudio en detalle de toda la documentación recuperada durante la intervención, se comenzó a vislumbrar la verdadera entidad del yacimiento. Que se revelaba con una poderosa relación con los procesos metalúrgicos hecho harto significativo teniendo en cuenta la cronología tan antigua a la que nos estábamos refiriendo.

Será, pues, este aspecto de productor metalúrgico uno de los que, unido a su arquitectura, le dará personalidad al poblado, máxime, como dijimos, teniendo en cuenta su contexto cronológico en la primera mitad del primer milenio ane. Así, si bien en prácticamente casi todos los yacimientos excavados hay algunos aspectos que los hacen irrepetibles en éste se puede considerar que sus características lo convierten, por el momento, como único y excepcional en la Prehistoria del Noroeste, -por ceñirse a su ámbito regional y no extenderlo a la Península o buena parte de la Europa Atlántica-.

La caracterización de la entidad del poblado como factoría metalúrgica se realiza a partir de las analísticas de las evidencias de metales y escorias localizados y del análisis de las distintas estructuras arqueológicas vinculadas con ese proceso productivo.

La identificación de una serie de evidencias de carácter metálico entre los registros del yacimiento, que formalmente se caracterizaban como productos y subproductos de las actividades metalúrgicas y mineras apuntaba a que una parte importante de la superficie del poblado tenía una dedicación vinculada a la producción metálica.

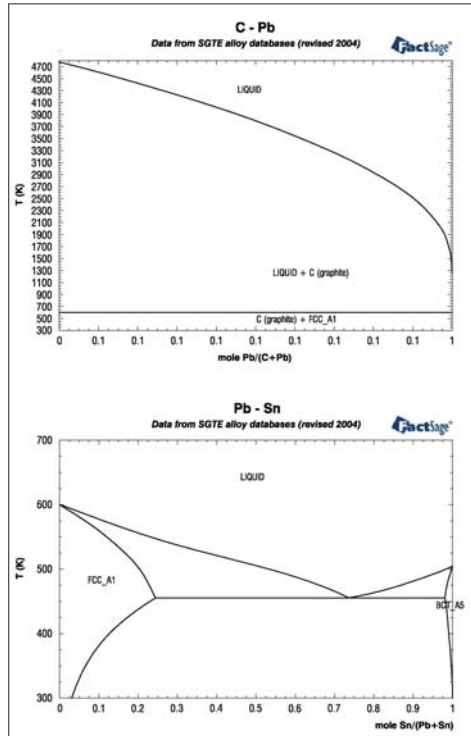
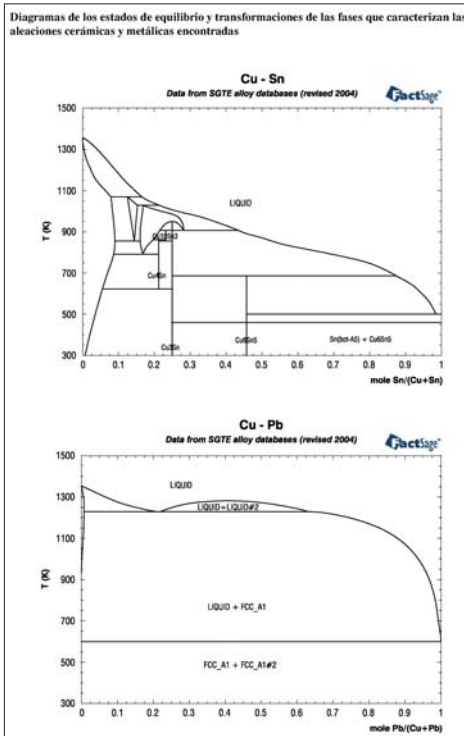
## LA PALEOMETALURGIA Y LA PALEOMINERIA

### **Consideraciones generales sobre Paleometalúrgia y Arqueometalúrgia**

Las consideraciones que se plantean a continuación se realizan sobre la base de la Ciencia de los Materiales y la Ingeniería Metalúrgica modernas, útiles en la reconstrucción de la Paleometalúrgia del poblado y de su minería. Estas consideraciones han teniendo en cuenta toda una serie de matices científicos que son claves para descifrar y reconstruir cada uno de los principales procesos metalúrgicos con el propósito de caracterizar la metalurgia, los minerales empleados y su origen, así como los productos auxiliares que intervienen activamente en el proceso metalúrgico como son el carbón y los fundentes, todo ello investigando los productos, metales, aleaciones, crisoles, hornos, etc. y los subproductos tales como escorias y escorificaciones e incluso los restos de minerales encontrados en las construcciones de laboreo dentro del yacimiento.

A estas consideraciones se pueden establecer porque se dispone, en primer lugar, de una experiencia en la identificación de los registros del yacimiento en base a un conocimiento previo según parámetros de caracterización formales de los productos y subproductos de las actividades metalúrgicas y mineras, y en segundo lugar porque se dispone, hoy en día, de técnicas analíticas de gran contraste y fiabilidad científica, que además se aplican siguiendo una secuencia lógica que está basada en el rastreo de





Figs. 6-7-8.- Diagramas de los estados de equilibrio y transformaciones de las fases que caracterizan las aleaciones cerámicas y metálicas encontradas.

compuestos y elementos químicos especiales, que nos permiten trazar la secuencia de análisis en función de la caracterización y trazado de los procesos metalúrgicos que conocemos previamente como causantes de la formación de los tipos de registros metalúrgicos encontrados.

Diagramas de los estados de equilibrio y transformaciones de las fases que caracterizan las aleaciones cerámicas y metálicas encontradas

**Diagramas de Ellingham empleados:**

Los diagramas de Ellingham (fig. 9) son una base científica de gran utilidad en la investigación metalúrgica que nos indica el sentido de las transformaciones e

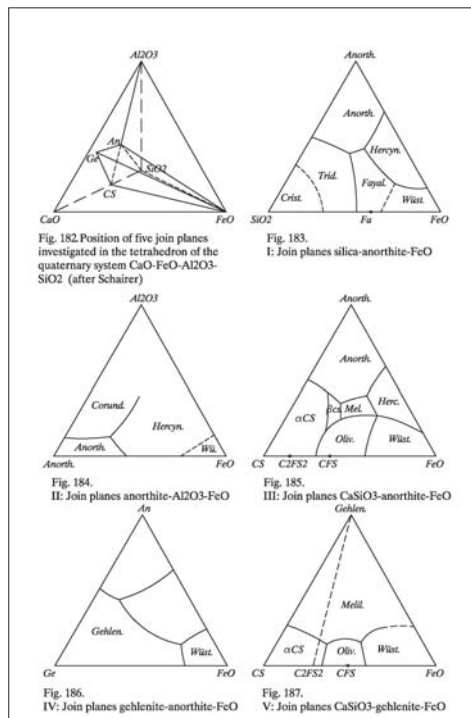


Fig. 182. Position of five join planes investigated in the tetrahedron of the quaternary system CaO-FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (after Schairer)  
 Fig. 183. I: Join planes silica-anorthite-FeO  
 Fig. 184. II: Join planes anorthite-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO  
 Fig. 185. III: Join planes CaSiO<sub>3</sub>-anorthite-FeO  
 Fig. 186. IV: Join planes gehlenite-anorthite-FeO  
 Fig. 187. V: Join planes CaSiO<sub>3</sub>-gehlenite-FeO

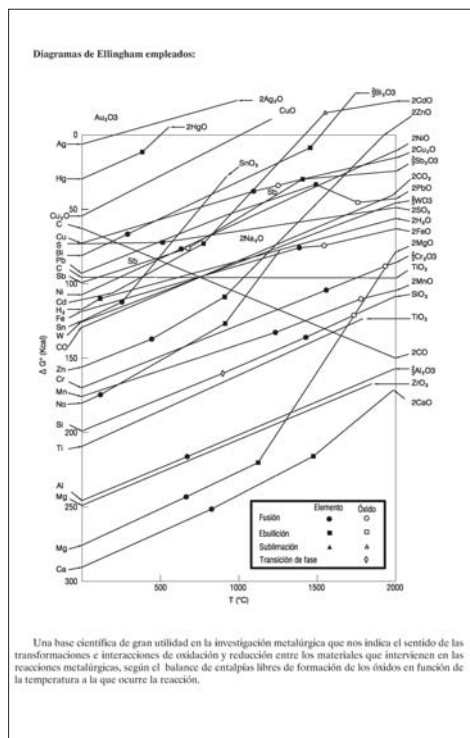


Fig. 9.- Diagrama de Ellingham.

interacciones de oxidación y reducción entre los materiales que intervienen en las reacciones metalúrgicas, según el balance de entalpías libres de formación de los óxidos en función de la temperatura a la que ocurre la reacción.

### Métodos de análisis

En general para el estudio de las escorias y escorificaciones en general se han utilizado técnicas de análisis avanzado global, es decir, que la analítica refleje la composición global de los registros sin tener que acudir a muestras masivas ni tampoco a analíticas de localización puntuales que falsearían la caracterización de los registros, excepto si se decide la búsqueda de trazadores o indicadores cualitativos secundarios que normalmente pueden revelar el origen metalúrgico como es en el caso de metales y aleaciones. En el primer modo se pueden emplear DRX (Difractometría de Rayos X), FRX (Fluorescencia de Rayos X) y Análisis Elemental de Carbono y de Azufre, en la segunda modalidad se pueden emplear Análisis por Microscopía Petrográfica y Análisis por medio de Microscopio Electrónico de Barrido con Sonda Analítica.

### Espectrofotómetro de infrarrojos con fuente «Leco»

Fundamentos: Espectrofotometría de absorción I.R. por medio de una fuente «LECO» y «beamsplitter» con transformada de Fourier. Permite análisis cuali-cuantitativo, en nuestro caso de los elementos Carbono y Azufre, operando con combustión de una muestra y analizando los gases resultantes. Así se analizaron Carbono (C) y Azufre (S) en muestras de escorias, aleaciones, etc...

### Difracción de Rayos X (DRX)

Fundamentos: La más ampliamente utilizada para la identificación de fases o materiales cristalinos por medio de sus características bandas espectrales de difracción de los Rayos X, es un método semidestructivo ya que requiere de la pulverización de la muestra, pero no afecta a su composición de fases cristalinas ni a su composición en elementos químicos. Los parámetros de caracterización son el ángulo de difracción y la intensidad, realmente impulsos detectados o counts de difracción, detectados con el difractómetro de polvo cristalino, del que se obtiene un registro gráfico de las señales que los haces difractados originan en detectores cuánticos de radiación. Es la modalidad que he elegido para la obtención de las analíticas de DRX debido a su fiabilidad y precisión. Aporta una valiosa

información de la presencia de los compuestos cristalinos de las escorias, tales como FAYALITA, WUSTITA, HERCINITA, minerales, metales, etc., ya que su presencia y cantidad indican las características y modalidad del proceso metalúrgico, y también para discernir entre verdaderas escorias antiguas o modernas y pseudo-escorias antiguas y modernas, así en este caso la detección de cenizas vitrificadas como subproducto de operaciones auxiliares, tal por ejemplo, precalentamiento de los hornos, etc.. También permite la identificación de minerales cristalinos y fundentes, empleados como materias primas, materiales de estructuras de los hornos, etc...

Hoy día se dispone de equipos analíticos por DRX, portátiles y ligeros para análisis locales de muestras arqueológicas.

### **Fluorescencia de Rayos X (FRX)**

Fundamentos: Si irradiamos con rayos X una muestra, de composición desconocida, dicha muestra emitirá las radiaciones características de los elementos que la componen. Detectores de semiconductores permiten descomponer el espectro de fluorescencia en sus componentes monocromáticas, Del análisis de las longitudes de onda (en realidad energía de los rayos X) se puede conocer la composición cualitativa en elementos de la muestra, mientras que de la medida de las intensidades (en realidad «Counts» recuento de impulsos) tendremos la composición cuantitativa. Estas medidas se reflejan conjuntamente en las tabulaciones de las analíticas de F.R.X. presentadas en el informe arqueometalúrgico del yacimiento. La interpretación de estas analíticas nos permite identificar el tipo de escorias y dentro de estas, las materias primas que intervinieron en el proceso metalúrgico y que las han originado, composición de aleaciones de objetos metálicos y cerámicos, tipo de fundente, minerales, etc... Es una analítica semidestructiva con escorias, cerámicas, por razón de resultado global de la muestra, y no destructiva con objetos de aleaciones metálicas, como hachas, espadas puntas de flecha, etc.

Hoy día se dispone incluso de dispositivos portátiles ligeros basados tanto en FRX como FRG (isotópicos) para obtención de analíticas no destructivas.

### **Microscopía electrónica de barrido y Microsonda de (DFRX – XEDS – TEM)**

Fundamentos: Se basa en la detección de radiación electrónica secundaria, provocada por barrido de electrones de la superficie de la muestra y la mezcla con un foco de (TRC), utilizado como contraste de imagen barrida como en un receptor de televisión, obteniéndose una imagen micrográfica de la superficie de la muestra, que permite detectar las distintas fases vítreas y estructuras cristalinas correspondientes a los materiales que componen la muestra. La microsonda permite hacer microanalíticas puntuales de las heterogeneidades estructurales superficiales detectadas en el barrido superficial. Estas técnicas son útiles para detectar las fases vítreas o cristalinas y su microanálisis por DFX y FRX, sobre todo en pequeñas muestras, con presencia de elementos trazadores para interpretación arqueometalúrgica, que pueden ofrecer pistas del origen de las muestras. Se aplica a la identificación de aleaciones metálicas, escorias, cerámicas, etc. Analizando sus fases vítreas y cristalinas presentes en la superficie de la muestra así como las composiciones puntuales en elementos en puntos determinados que pueden ser específicamente seleccionados, pudiéndose crear mapas de distribución de los componentes y fases presentes en la superficie de la muestra.

## **Elementos y compuestos rastreados en las analíticas**

### **Elementos asociados en el procesado**

De las analíticas se determinan la composición cualitativa y cuantitativa de elementos químicos y compuestos cristalinos que se pueden agrupar de la siguiente manera:

-Un grupo constituido por aquellos elementos procedentes del tipo de fundente empleado, en este caso de arena silíceo, esencialmente compuesta de sílice y de las arcillas para escoriificación en el proceso de afinado de los metales y aleaciones.

-Un grupo constituido por aquellos elementos provenientes del mineral, al que acompañan desde su origen, por paragénesis.

-Un grupo del carbón vegetal empleado, aporta cantidades poco significativas de los elementos encontrados, excepto en el caso del carbono y el potasio y a veces de calcio. Es de notar el aporte de la cantidad de potasio por el empleo de carbón vegetal. La cantidad de carbono en las escorias es un índice inverso de la carburación de la fundición metálica que se obtiene, en este caso en forma de grafito, por condiciones reductoras.

-La presente cantidad de fósforo está causada esencialmente por el origen local del mineral y de las labores mineras con fuego y agua. Ya testimonialmente fósforo y calcio provenían de rituales propiciatorios del inicio de la fusión en el horno, ya que aportando huesos facilitaban la formación de escorias más fusibles, aspecto mencionado en los escritos antiguos de alquimia y otras fuentes literarias.

El empleo de arena silíceo, en proporciones convenientes, era para lograr, a las temperaturas factibles para aquellos hornos, la separación de la ganga del mineral en el horno, mediante la formación de escorias ácidas de monosilicatos complejos, que eran fusibles en un amplio intervalo de temperaturas, disolvían la ganga y fluían con facilidad, aunque con ellas se pierde un porcentaje del metal del mineral en forma de compuestos, fayalita y con ella la eliminación del hierro que es la impureza más abundante.

La fluidez de estas escorias ácidas antiguas facilitaba, además de los procesos físico-químicos, la circulación de los gases que intervenían en el proceso metalúrgico y por ello el buen funcionamiento metalúrgico de los hornos. Dicho Horno funcionaba en condiciones reductoras, es decir «ahogado», como en algunos hornos de fabricación de la cerámica oscura castreña, un indicio de que trabajaban en la misma condición aunque no eran iguales estructuralmente, así tenían un funcionamiento más regular y controlable, en condiciones reductoras similares funcionaban los hornos metalúrgicos para el cobre, aunque estructuralmente tenían diferencias con los hornos para el hierro.

### **El combustible**

El carbón empleado en el proceso metalúrgico dentro del horno, provenía de la tostación de maderas duras, entre las que el torgo, que es la raíz y tronco del brezo blanco o urz, era el mejor, y todavía era empleado en las fraguas locales hasta mediados del siglo XX. En este yacimiento se constató, tras el estudio antracológico realizado por María Martín, tres variedades susceptibles de ser utilizadas para esta finalidad, el madroño, la retama y el roble. El carbón era obtenido en «carboneras» especiales para carbón, posiblemente hechas en los mismos bosques, aunque también y puntualmente se podría obtener en alguna de las estructuras identificadas en el poblado.

La función como combustible, consiste en aportar el calor necesario para la marcha del proceso metalúrgico, como en deshidratar los minerales y la fusión de los materiales para

las reacciones complementarias y separación de los productos obtenidos, las escorias y el metal. La función principal es como reductor indirecto, en este caso esencialmente en forma de monóxido de carbono, sobre los óxidos metálicos principalmente, transformándolos a metal, esto constituye la clave de procedimientos metalúrgicos antiguos. El carbón vegetal también protege al metal, que se forma en el crisol del horno, de la oxidación, puesto que flota encima del baño metálico, pero quedando por debajo de las toberas. Para ello se dispone de carbón en el crisol de manera que forme un lecho incandescente reductor que además carbura la fundición metálica. Este hecho ha sido constatado en análisis de otros yacimientos Paleometalúrgicos y en este caso también, por la significativa cantidad de carbono en las fundiciones de bronce registrados en el yacimiento que ahora nos ocupa, la fundición de cobre tiene más grafito que la de plomo a igualdad de temperatura y concentración como se deduce de los diagramas Cu-C y Pb-C, hecho que además reflejan las analíticas por microscopía electrónica de los PEC - 3300,

Según el diagrama de Ellingham, el carbono, del carbón vegetal, podría reducir el cobre y el plomo directamente, tal como propusieron otros investigadores, pero hay que tener en cuenta la nula solubilidad del carbono en estos metales, Cu y Pb, como se deduce de los diagramas Cu-C y Pb-C, anteriormente presentados, y por ello la difusión del carbono en estos metales es prácticamente nula, lo cual solo deja la posibilidad de una reducción superficial, impidiendo la película de metal formada, que el resto de la partícula mineral pueda ser reducida. Por todo ello siempre podemos decir que han sido hornos reductores, mediante monóxido de carbono, los utilizados en la paleometalurgia de los antiguos metales, excepción hecha para el caso de los bronce antiguos, en los que también intervenían el cobre o el plomo como reductores y elementos de aleación, como ha quedado expuesto en las indagaciones de este estudio.

### **El comburento**

El oxígeno necesario para la combustión del carbón y la oxidación de las impurezas, proviene del aire insuflado al horno por medio de fuelles, descargando aire a presión en el horno por medio de unas cañas posiblemente de cobre (se encontraron restos encapsulados en trozos de escorias), que a modo de lanzas terminaban deslizándose dentro de unas piezas de cerámica tubular, las toberas, inyectaban así, aire hacia dentro del horno donde se situaba el carbón, el mineral y el fundente. En la zona de toberas era precisamente donde se alcanzaban altas temperaturas.

### **El fundente**

El fundente utilizado era arena silíceo extraída de lechos de río, playas, rocas, etc., y en las labores de afino eran arcillas, como mezclas de clinocloro, caolinita, etc., que intervenían en la eliminación de las impurezas de las fundiciones metálicas.

La función de la arena de sílice era formar una escoria, esencialmente, fusible y relativamente fluida dentro del horno que facilitaba la oxidación de las impurezas, y la eliminación de la ganga del mineral en forma de silicatos y óxidos complejos.

Las escorias silicatadas ferrosas originadas en la reducción metalúrgica, escorias ácidas, terminan componiéndose de sílice y un óxido complejo de hierro, la FAYALITA, con una TEMPERATURA M.P. de 1270 °C, y además dependiendo principalmente de la temperatura alcanzada, óxidos complejos de tipo espínela como HERCINITA debido al origen del mineral tipo GOSEN, material vítreo e inclusiones primarias y secundarias de los materiales

procesados. La cristalinidad depende de la cantidad de óxidos, sílice y de la velocidad de enfriamiento. En nuestro caso el fósforo y el calcio provienen esencialmente de los minerales de nuestra zona y del carbón vegetal. Las escorificaciones de afino son complejas por contener una variedad de óxidos de impurezas, suelen ser de naturaleza vítrea y contienen compuestos cristalinos de las arcillas empleadas en exceso para generarlas, como quedó expuesto en la valoración de las analíticas.

El proceso metalúrgico del Horno Bajo, parece ser que era principalmente el de reducción del mineral por el monóxido de carbono. Este gas arde con llama de un azul intenso cuando la proporción es como mínimo del 13 % , circunstancia que se lograba en el tragante del horno, ya que cuando las condiciones eran las idóneas para la reducción del mineral se alcanzaba la concentración suficiente de este gas con alrededor de un 28 % en el tragante del horno, adecuada para la buena marcha del proceso, en estas condiciones se dice que el horno funcionaba «ahogado», es decir, en proceso reductor, además así su calentamiento es más regular y estable, y las condiciones en el horno son mas controlables. La temperatura de los gases en el tragante alcanzaba y se mantenía alrededor de 600 °C, datos justificados por experimentos realizados con replicas hechas por diversos Institutos de Investigación.

El control del proceso era visual, por el color azulón de la llama del monóxido de carbono en el tragante y de este modo sabían que el horno funcionaba en óptimas condiciones, detalle que se podía detectar claramente trabajando por la noche.

### **Metodología de procesado y análisis de muestras**

En cualquier prospectiva el equipo o equipos de intervención debieran de establecer un reglamento de procedimientos básicos de identificación, recogida de muestras, catalogación, para facilitar su posterior investigación. La cooperación interdisciplinar es necesaria en estos casos para llevar a cabo con éxito la investigación.

En primer lugar se ha procedido a aislar convenientemente las muestras, evitando limpiar indiscriminadamente, guardando en bolsas al vacío el material que así lo ha requerido, puesto que la humedad y contaminación ambiental o el contacto con materiales genera un espectro de fondo que puede afectar al resultado de las analíticas. Así mismo se han identificado convenientemente y etiquetado. Cuando ha sido preciso se han sometido las muestras a una cuidadosa limpieza ultrasónica. También se han practicado radiografías previas, así como selección y toma de muestras de los registros materiales catalogados del yacimiento con características de actividad metalúrgica, metalística y minera.

### **La paleometalurgia del plomo**

#### **Características del mineral**

La minería prehistórica de pequeñas explotaciones metalúrgicas, se dedicaba a vetas superficiales laterizadas o de gossen, en estos estados los minerales estaban enriquecidos en menas más fáciles de procesar en aquellas sencillas metalurgias, no exentas de cierta complejidad y dificultad para aquellos tiempos. Así los sulfuros de los metales en este caso son transformados, por un proceso natural llamado laterización, en óxidos, hidróxidos y carbonatos y los metales de los silicatos pierden sílice y se transforman en hidróxidos. Estas presentaciones más sencillas han permitido el desarrollo de una metalurgia prehistórica basada esencialmente en el aprovechamiento de minerales sencillos, agotados éstos, tuvieron la necesidad de emplear los sulfuros más profundos y también más

complejos de procesar, lo cual motivó la necesidad de desarrollar nuevas técnicas para transformarlos en compuestos más sencillos asequibles a la prehistórica metalurgia tradicional practicada durante siglos y milenios antes de la era industrial. Los registros analizados permiten descubrir el nivel y complejidad de aquella metalurgia mediante la interpretación científica de especiales analíticas avanzadas, realizadas con técnicas modernas de análisis por DRX, FRX y otras complementarias como microscopía electrónica, a las que fueron sometidas las muestras del yacimiento.

## Minerales de Plomo

### *Galena.- PbS*

Morfología: Aparece en cristales formando agrupaciones granulares compactas. Presenta a veces intercrecimientos de esfalerita o pseudomorfos de **piromorfita**. La superficie de los cristales suele aparecer mellada, a veces cubierta de una capa de cuarzo y calcita y otras veces por calcopirita.

Génesis: normalmente hidrotermal primaria.

Paragénesis: esfalerita, calcita, baritina, fluorita, pirita y cuarzo. Galenas de antimonio  $SPb^*S_3Sb_2$  y bismuto  $SPb^*S_3Bi_2$ .

### Minerales que derivan de la oxidación de la galena

La alteración de los minerales de génesis primaria por laterización da lugar a un tipo de gossen útil a la paleometalurgia.

**Cerusita.-  $CO_3Pb$** , su nombre proviene de Cerusa, nombre dado por los romanos a este mineral, también se le llamó albayalde nativo, blanco de plomo o plomo blanco. Resulta de la degradación del yacimiento primario, pero también puede formarse debido a la actividad humana y puede ser indicio de actividad minera antigua de la metalurgia del plomo, debido a la degradación del mineral primario expuesto como consecuencia de actividad minera.

### **Piromorfita.- $(PO_4)_3ClPb_5$**

Génesis: secundaria

Paragenesis: con otros fosfatos. El fósforo lo aporta la ganga de minerales de hierro, tales como limonita, goetita, pirita, etc., en forma de fosfatos de hierro, así la fosfosiderita  $Fe(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ , que acompaña especialmente a las limonitas .

Se le llama también plomo verde (puro), plomo pardo (con sulfuro), o blanco amarillento.

## Consideraciones aplicables al poblado

Especialmente significativo al respecto en concordancia con lo anteriormente expuesto son los compuestos encontrados en el registro PEC – 9685 (nº rº 1908), como muestra el análisis DRX y el FRX, que corresponden al tipo mineral de plomo que procesaban. Utilizaban Galena, mineral de yacimiento primario, acompañada por sulfuros dobles con antimonio y bismuto, la ganga asociada, albita, anortita, microclina, goetita, moscovita, cuarzo, etc., detectadas en las analíticas referidas, indica un origen del mineral en roca pegmatítica, que se puede constatar presente en el entorno cercano al poblado como se refleja en los mapas geológicos. La Cerusita detectada es consecuencia de la alteración



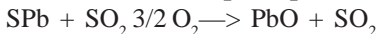
Fig. 10.- Lingote de plomo con funda.

natural de los sulfuros inducida por la actividad minera con fuego y agua practicada durante los prolongados laboreos a lo largo de mucho tiempo.

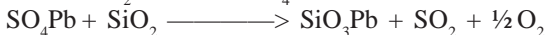
**Método de tostación y reducción:**

Se hace pasar aire a través de una mezcla de galena, caliza y dióxido de silicio puesta al rojo.

**Tostación escorificante por soplado.**



Mediante el dióxido de silicio se transforma en silicato de plomo el sulfato de plomo formado por exceso de aire, dando lugar a escorificación esponjosa en la tostación, muy adecuada para optimizar la metalurgia:



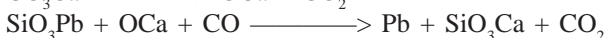
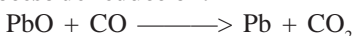
Para evitar la reducción por el carbono directamente, con defecto de aire, que sería:



El silicato de plomo ha sido detectado en el PEC – 9685 (nº rº 1908), pero ya no se encuentra en el lingote de plomo, PEC – 218 y 219 (nº rº 821).

También el sulfato de plomo puede provenir de la actividad minera, con fuego y agua para quebrantar la roca del mineral.

**Proceso de reducción:**



La fundición de plomo obtenida contiene poco carbono en forma de grafito, comparada



con la de cobre, como se refleja en los diagramas adjuntos, circunstancia detectada en el lingote de plomo PEC – 218 y 219 (nº rº 821) y en los bronceos plomados encontrados en los registros metalúrgicos del yacimiento (PEC – 9684 nº rº 3300), que carecen prácticamente de grafito a pesar de su contenido en cobre, lo cual también indica el origen de éste desde un mineral pre-reducido y no desde una fundición de cobre metálico, por una reducción del mineral en forma de óxido en el horno metalúrgico.

La purificación del plomo, afino, ocurre al calentar la fundición de plomo alrededor de 800 °C, formándose óxido plumboso, PbO, que oxida las impurezas y estas son escorificadas con arcillas.

Esto explicaría la pureza del lingote de plomo y la de su envoltura también de plomo, PEC – 218 y 219 respectivamente (nº rº 821), encontrado en el castro.

### **Paleometalurgia del cobre**

El cobre existe en la naturaleza y sus menas más importantes en estado nativo, se presentan como óxido cuproso  $O_2Cu$  (cuprita) o como carbonato  $CuCO_3$  (malaquita, azurita), y por último como piritas cuprosas casi siempre combinación de sulfuro de hierro y cobre  $2Cu_2S \cdot 2FeS$ , calcopirita, calcosina, cobres grises (sulfuros complejos con arsénico y antimonio y a veces hierro, plata y zinc).

La extracción del óxido cuproso y del carbonato se realiza fundiendo estos minerales con carbón en hornillos adecuados, llamados «hornillos para cobre». El carbón combinándose con el oxígeno del óxido pasa a óxido carbónico, mientras que el cobre pasa a estado metálico. Luego se purifica el cobre bruto por afino.

La extracción desde la piritas cuprosas es labor más complicada pues requiere de varias etapas.

1º.- Etapa de tostación de la piritas cuprosas. Aquí el azufre del sulfuro de cobre se descompone en anhídrido sulfuroso y óxido de cobre, a  $>1100^\circ C$  y con aire, al que finalmente acompaña el sulfuro de hierro.

2º.- Etapa de separación del hierro del cobre.

Formación de la **mata de cobre**. Aquí la mezcla de óxido de cobre y sulfuro de hierro (también se le añade parte de este último) es tratada con sílice, a alta temperatura ( $>1100^\circ C$ ). Se forma sulfuro de cobre y óxido de hierro, este último se une a la sílice y forma silicato de hierro muy fusible que se separa fácilmente del resto de la materia, esta última es una mata que contiene casi todo cobre y un poco de hierro.

Estas dos etapas se repiten varias veces. El resultado de todas ellas es una MATA DE COBRE (mata blanca), compuesta de sulfuro de cobre y con algo de hierro.

Y aparte las escorias de silicato de hierro que contienen algo de cobre se vuelven a reutilizar en las matas brutas.

3º.- Etapa de tostación de la mata de cobre

Etapa de obtención del cobre negro. La mata de cobre mediante un último tostado (sin presencia de sílice) a  $1000^\circ C$ , se convierte en óxido de cobre «COBRE NEGRO» (mata negra, compuesta de 95% de Cu con un poco de azufre y hierro estos últimos en forma de piritas y óxido de hierro).

4º.- Etapa de afino del «cobre negro».

Consiste en exponer dicho cobre en fusión, a una corriente de aire oxidante, cuidando de que el aire incida solamente en la capa de mata y no en el cobre fundido que se forma debajo, en presencia de Sílice, arcillas (Caolinita y clinocloro o clorita, y carbón de huesos,

llevados a una fragua especial u «hornillo para cobre» (como el Horno Escocés), donde se afina, removiendo con varas verdes de toxo o xesta, para poner en contacto con el viento la mata y la escoria pero no el cobre fundido que se está formando debajo, el resultado es la obtención del cobre roseta.

Se desprende todavía algo de anhídrido sulfuroso y se forma silicato de hierro (en realidad silicato ferrocálcico). La presencia de arcilla en esta etapa de fusión, provee de alumina a los silicatos ferrocálcicos provocando así una disminución de su punto de fusión, el carbón de huesos por otra suministra el calcio y el fósforo. El calcio formará el silicato ferrocálcico de más bajo punto de fusión y el fósforo eliminará la oxidación del cobre (ciclo del fósforo en presencia de carbón) hasta que consumido el carbón, el fósforo se elimina en forma de óxido.

5º Etapa de separación del cobre roseta.

Cuando el afino ha terminado se solidifica la roseta echando agua fría por encima. La parte solidificada o roseta se quita con un hurgón. Así queda el cobre listo para su utilización como metal.

Las arcillas juegan un papel importante en la metalurgia antigua como purificadoras de las fundiciones de los metales debido a que escorifican las impurezas, consistentes en los óxidos metálicos de los metales de los grupos III al XI de la tabla periódica de Mendeleiev, oxidados por mediación del óxido cuproso por estar por debajo de sus valores entálpicos, estos óxidos son insolubles en el metal, en cambio se disuelven en las arcillas y forman, por fusión, una escorificación vitro-cerámica de silicatos complejos con enlace covalente coordinado, la escorificación formada lleva las impurezas de la fundición metálica.

Indicios de afino del cobre son la caolinita, que aparece en las analíticas DRX en el PEC 9641 (nº rº 3433) y PEC 9642 (nº rº 3434) y el clinocloro que aparece en el registro PEC 9625 (nº rº 3410). Las impurezas se detectan en sus respectivas analíticas FRX. Indicios de nódulos de cobre en el PEC 9621 (nº rº 3402), donde se han detectado por microscopia electrónica, como queda reflejado en el apéndice anexo de analíticas de Micro-PEC 9621 (nº rº 3402).

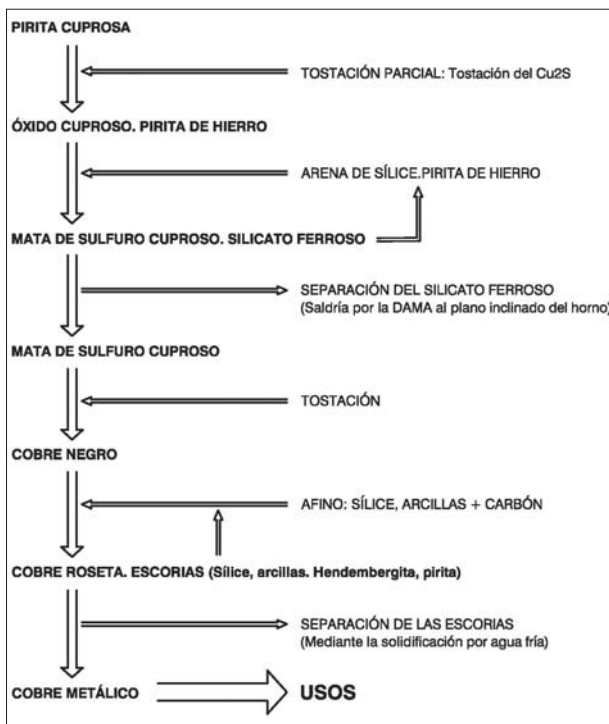


Fig. 11.- Esquema metalúrgico del cobre.

### Esquema del proceso metalúrgico

La fundición de cobre obtenida contiene una cantidad significativa de carbono en forma de grafito, mayor con diferencia, de la que presenta la fundición de plomo como queda reflejado en los diagramas adjuntos y constatado en las analíticas de los bronce al estaño encontrados en los registros metalúrgicos, (PEC 9664, n° r° 3300), lo cual indica que el cobre de estos bronce fue obtenido previamente, por mediación de la reducción con el carbón, en forma de monóxido de carbono OC, en un horno metalúrgico para la obtención del cobre.

### Paleometalurgia de los Bronces en el poblado

Según las analíticas nos encontramos dos tipos de bronce. Uno de cobre y estaño. Otro ternario de cobre, estaño y plomo. Las metalurgias de ambos difieren notablemente según se deduce de las entalpías de procesado en las reacciones metalúrgicas deducidas del diagrama de Hellingham, en concordancia con los resultados de analíticas DRX y Microscopia Electrónica sobre los registros metalúrgicos del yacimiento, (PEC 9664, n° r° 3300) y (PEC 9685, n° r° 1908).

### Diagrama Ellingham (fig. 12)

Tsr Sn/Pb = 620 °C = 893 °K: temperatura mínima de reducción de la casiterita (Sn O2) por el plomo.

Tsr Sn/Cu = 740 °C = 1013 °K: temperatura mínima de reducción de la casiterita (Sn O2) por el cobre.

Lo anteriormente expuesto es la base para entender el porque de las diferentes características de los bronce hallados. Para su obtención se han empleado metalurgias y metalisterías distintas, aunque los dos tipos de bronce antiguos tienen en común su punto de fusión más bajo que en los bronce tradicionales modernos, especialmente los bronce plomados encontrados en el yacimiento, como queda reflejado en el diagrama adjunto, la razón de esta circunstancia hay que buscarla en que la metalistería de aquellos

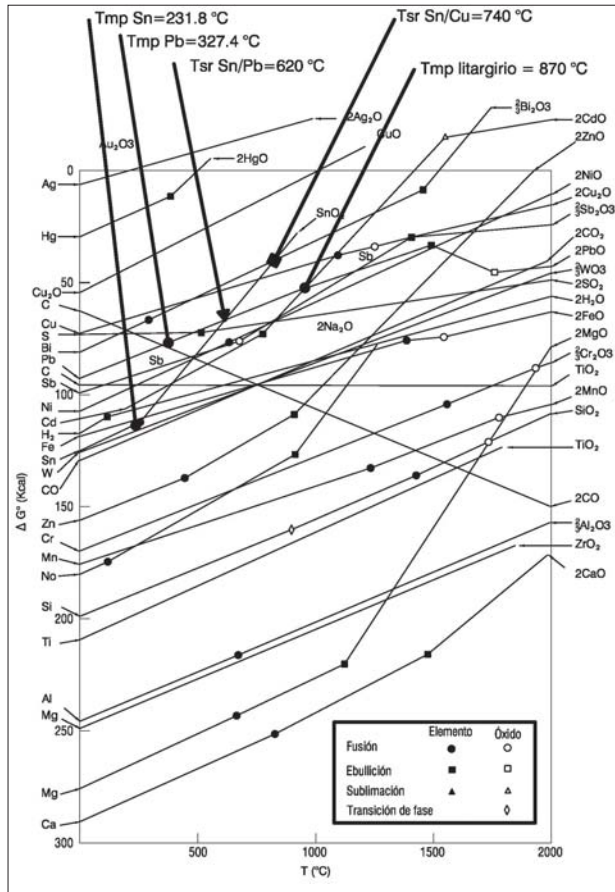


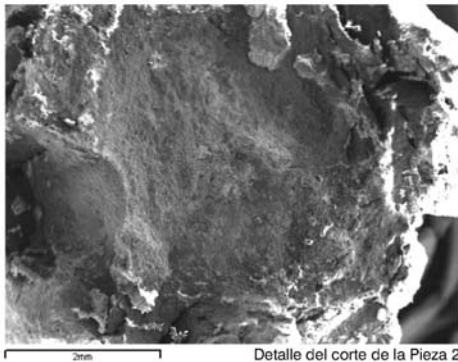
Fig. 12.- Diagrama Ellingham-2.



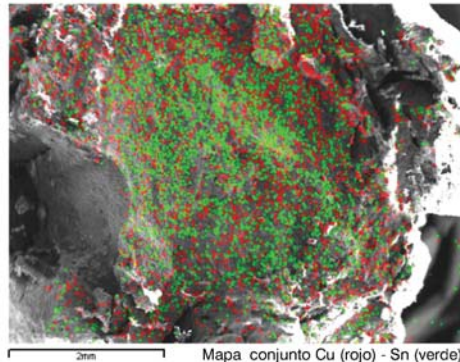
Fig.13.- Goterones.

tiempos empleaban pequeños hornillos de crisoles, derivados de fraguas modificadas, cuya temperatura no alcanzaba mas allá de los 1350 °C por el problema de las cerámicas, en realidad barro cocido, de los crisoles de entonces, que estaban limitadas a esa temperatura, es decir, que las fases vítreas del barro cocido tienen su temperatura de transición,  $T_g$ , alrededor de 700 °C, por otra la temperatura de recristalización de fases cerámicas comienza alrededor de los 950 °C, por lo que en este intervalo de temperaturas está el límite de trabajo de aquellos crisoles, también por la fusión de los silicatos de hierro, puesto que la verdadera cerámica les era desconocida y también para evitar la oxidación del baño metálico, es decir, el quemado del metal, mientras que un horno

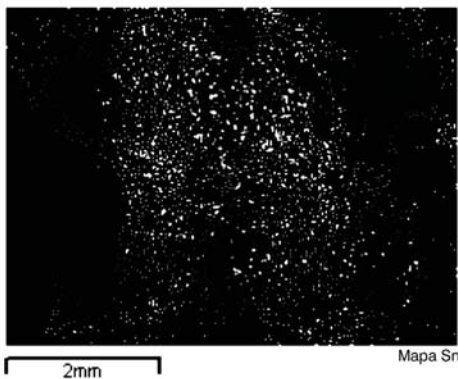
Fig. 14.- Mapas pieza 2.



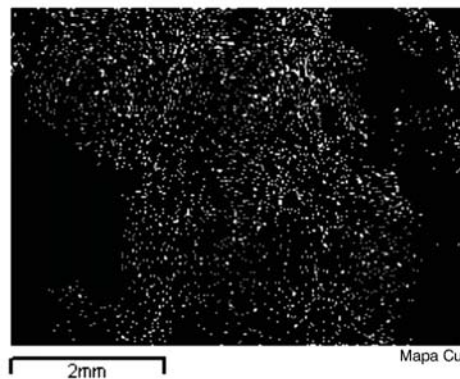
Detalle del corte de la Pieza 2



Mapa conjunto Cu (rojo) - Sn (verde)



Mapa Sn



Mapa Cu

metalúrgico las condiciones son otras, para el cobre tendría que superarse no solo la temperatura de fusión del cobre, 1087°C, sino la de la escoria fayalítica, cuyo punto de fusión mínimo es de 1270 °C pero con un sobre margen practico como mínimo de 100 °C, lo que nos llevaría a considerar temperaturas cercanas a 1400 °C en el nivel de las toberas, temperaturas necesarias para permitir el sangrado de las escorias, y que han sido corroboradas en hornos de otros yacimientos con analíticas de DRX.

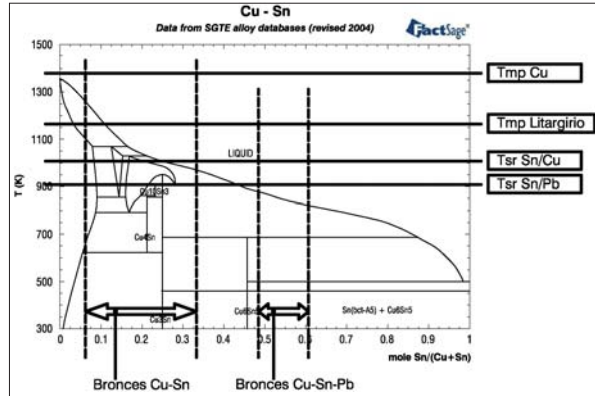


Fig. 15.- Diagrama Cu-Sn.

En los goterones y reboses de escoria registrados en el poblado y que han sido analizados con DRX, FRX y estudiados vemos que corresponden a arcillas y fases vítreas debido a la reacción con las cenizas del carbón vegetal, empleado en la metalistería, las paredes de los crisoles y el mineral de casiterita, como consecuencia de las reacciones de vitrificación resultantes y de la interacción química de los materiales antes comentados, expuestos a las altas temperaturas del hornillo. Conclusión a la que llegamos en base a que no se detectaron los metales pesados de los bronce analizados, pero la composición de estas muestras en fases cristalinas denotan el origen mineral de pegmoaplitas albiticas, que son metalogénicas en casiterita, y cuya fusión parcial da origen también a un material vitrificado parcialmente que contiene dicho mineral aun cristalino debido a su difícil fusión. Esto queda de manifiesto por las analíticas DRX y FRX, como las de los registros PEC 9634 (nº rº 3426) y PEC 9641 (nº rº 3433), en las que aparece el mineral asociado pero no la casiterita porque una vez beneficiado el mineral pegmoaplítico no queda cantidad suficiente para ser detectada, dada la habitual baja riqueza en casiterita de los minerales fuente y el empleo de arcillas purificantes en la metalurgia como ya expusimos para el cobre.

Todo ello nos induce a pensar en el procesado de la casiterita en la metalurgia de formación de los bronce esta revelado por la presencia de las pegmoaplitas en los derrames parcialmente vítreos en los talleres de elaboración de los bronce y por otra el elevado contenido de partículas de oxido de cobre y de casiterita en los bronce estudiados como queda reflejado en los mapas adjuntos analíticos de microscopia electrónica y en las elevada oxidación detectada en las analíticas FRX de microscopia electrónica sobre dichas muestras metálicas, (PEC 9684, nº rº 3300).

Dichas pegmoaplitas están presentes en las inmediaciones del yacimiento como queda reflejado en los mapas metalogenético y geológico.

Las analíticas nos indican que los registros en que se detecta estos indicios están situados en la zona pegmatítica situada en las cercanías del poblado donde además el mapa metalogénico constata la presencia de mineral de casiterita, en el que se estiman riquezas de Sn, estaño, explotables, que podrían estar entre 1000 ppm y 2000 ppm hoy día, pero que en la antigüedad su riqueza debió de ser mayor en casiterita y por ello en estaño, para que con los medios de entonces les fuera posible su detección y extracción rentable.

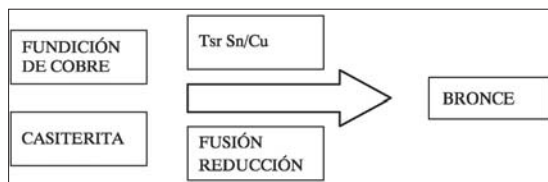


Fig. 16.- Elaboración del bronce al estaño.

En conclusión, podemos decir que empleaban casiterita mineral triturada, es decir, acompañada de pegmoaplitas albíticas como ganga. No hay una metalurgia propia del estaño.

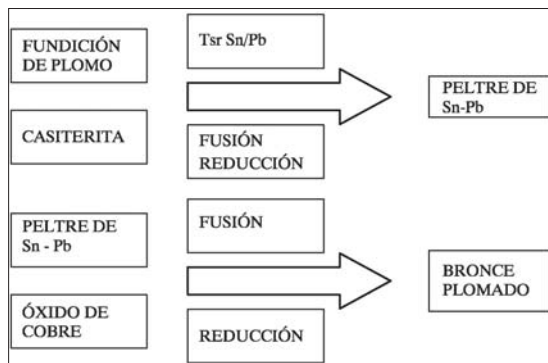


Fig. 17.- Elaboración de bronce plomado.

### Proceso de elaboración de los dos tipos de bronce documentados en el poblado

#### El Bronce al estaño

La metalurgia parte de una fundición de cobre metalúrgico, como se deduce del alto contenido en carbono detectado en las analíticas del (PEC 9684, n° r° 3300), que a su vez es el agente reductor del mineral de estaño, la casiterita. A esto se deben las inclusiones de casiterita y oxido de cobre detectadas en los mapas de

microscopia electrónica en la muestra (PEC 9684, n° r° 3300-1).

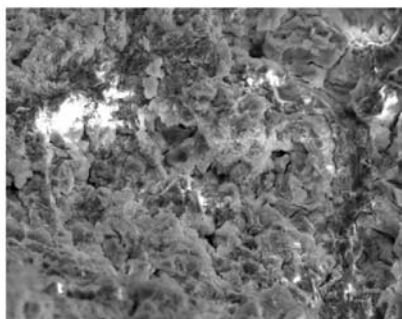
Estos bronce al estaño tienen una densidad superior a la media de las densidades de los metales que las conforman debido a la formación, al solidificarse, de compuestos Intermetálicos compactos densos, como se observa en el diagrama de equilibrio de las aleaciones Cu – Sn. Primero se funde el cobre, en forma de fundición de cobre - carbono y cuando la temperatura supera un margen de 100 °C a 200 °C a la  $T_{sr} Sn/Cu = 740\text{ °C}$ , se vierte la casiterita triturada en el baño de cobre fundido, de este modo se favorece la reducción del estaño por el cobre y la consiguiente formación del bronce, pero formándose oxido de cobre que a su vez es reducido en parte por el carbono de la fundición de cobre.

#### Bronce al estaño – plomo

Se documenta en la muestra (PEC-9680 n° r° 3300-2). En este proceso ahora el plomo es el reductor, que se convierte en litargirio y se elimina. Esto explica que al final la cantidad de plomo sea menor de la composición eutéctica del peltre inicialmente formado, por haberse oxidado formando litargirio, como consecuencia de la reacción de reducción de la casiterita y del cobre negro u oxido de cobre por tostación del mineral de cobre, como quedó expuesto en la metalurgia del cobre. Otro aspecto a resaltar de las analíticas de microscopia electrónica es la práctica ausencia de carbono en los bronce plomados lo cual indica que el cobre empleado no fue una fundición de cobre sino que se utilizó óxido de cobre, cobre negro, proveniente de tostación del mineral.

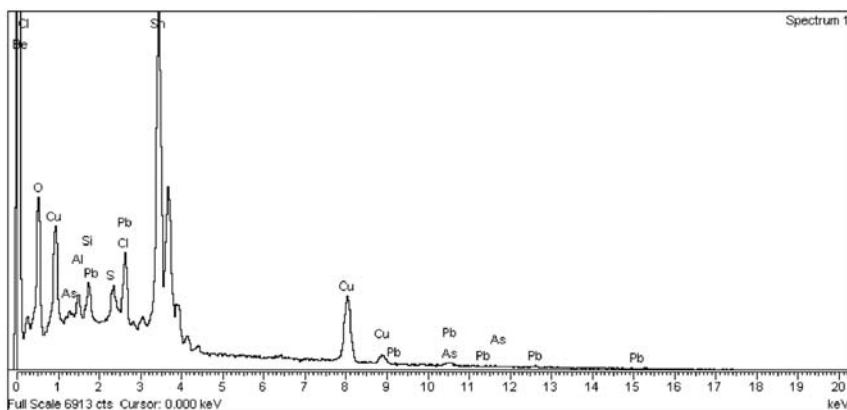
El plomo es el agente reductor de la casiterita como se deduce del diagrama de Ellingham y para ello el plomo fundido debe llevarse a una temperatura superior a la temperatura de reducción  $T_{sr} Sn/Pb = 620\text{ °C}$ , aproximadamente a 800 °C, y sobre el baño de la fundición de plomo, que no contiene prácticamente carbono como se deduce de la composición del lingote de fundición de plomo hallado en la excavación, al que se le vierte primero la casiterita y luego el cobre negro, obteniéndose así por reducción el bronce plomado.

**Ejemplo de resultado de Microscopía Electrónica para el Bronce al Plomo:**



Project: Metais  
Owner: Microscopia. SXAIN  
Site: Punto 1

Label: Spectrum 1  
Collected: 8-Aug-2007 11:42 AM  
Livetime (s): 100.00  
Real time (s): 146.24  
Detector: Silicon  
Window: SATW  
  
Tilt (deg): 0.0  
Elevation (deg): 30.0  
Azimuth (deg): 0.0  
  
Magnification: 700 X  
Accelerating voltage ( kV ): 20.00  
Process time: 5



Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
As InAs 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM  
Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
O K	15.31	0.5101	32.84	0.58	71.10
Al K	0.68	0.5542	1.34	0.12	1.73
Si K	1.00	0.6710	1.63	0.11	2.01
S K	0.52	0.8681	0.65	0.10	0.71
Cl K	2.41	0.7899	3.33	0.11	3.26
Cu K	12.73	0.9140	15.23	0.29	8.30
As L	0.44	0.6698	0.73	0.26	0.34
Sn L	32.20	0.8493	41.48	0.46	12.10
Pb M	2.06	0.8179	2.76	0.31	0.46
Totals			100.00		

Fig. 18.- Microscopía del bronce al plomo.

Además, a la temperatura de trabajo anteriormente referida, el óxido plumboso formado, oxida a las impurezas, como se deduce del diagrama de Ellingham por quedar dichas impurezas por debajo de las entalpías de formación del óxido de plomo, a la referida temperatura, impurezas que son escorificadas con arcillas, como en el caso del afinado del plomo y del cobre, en cambio el cobre y el estaño que le acompañan no son oxidados sino reducidos por quedar por encima en el diagrama, a la temperatura de trabajo, lo mismo que otros elementos como queda reflejado.

La aleación plomo – estaño tiene una densidad inferior que la densidad media de los metales que la forman, por ello para obtener una aleación homogénea con el cobre es necesario comenzar por fundir el peltre, que en realidad ya se tiene fundido por la temperatura de trabajo en la reducción de la casiterita, al que se le ha de ir añadiendo el óxido de cobre, cobre negro, que será reducido a cobre por el plomo. Los óxidos de plomo formados, litargirio, son eliminados de la aleación físicamente puesto que su punto de fusión es  $T_{mp}$  litargirio = 870 °C, de este modo se pierde plomo y es la razón de encontrar una baja proporción de plomo en estos bronce, inferior a la inicial en el peltre.

Cuando un bronce plomado se refunde varias veces, por oxidación del cobre se enriquece en Sn y Pb. Esto también explica que en los talleres de metalistería del Bronce Final se encuentren refundiciones de bronce con un alto contenido en Pb, independientemente de que en algunos casos la proporción de plomo se buscara intencionadamente.

## ESTRUCTURAS ARQUEOLÓGICAS RELACIONADAS CON EL PROCESO METALÚRGICO

Como se ha indicado anteriormente el poblado estaba dedicado a una finalidad eminentemente productiva, que dejó su impronta en los restos arqueológicos exhumados, de los que su mayor parte se corresponden con actividades relacionadas con la obtención y transformación de metales.

Entre las estructuras relacionadas con el proceso productivo destacan la existencia de una serie de estructuras, ocho en total, identificadas como eras de tostado, (UE 269), en el interior de la cabaña III, (UE 156/UE 562) en el Espacio I y las exteriores (UE 231/UE233), (UE 258), (UE 221/749), (UE 598) y (UE 198).

En el poblado se identificaron restos que denotan la existencia de al menos 20 hornos, metalúrgicos, semi-metalúrgicos y de metalistería. En el Barrio Bajo había cuatro. Tres en el espacio I, horno 1 (UE 227/UE563), horno nº 2 (UE 194/UE 564) y horno nº 3 (UE253/UE 565) y uno en la cabaña VII, horno nº 4 (UE96/UE 626/UE 748). El resto se concentraban en el Barrio Alto, horno nº 5 (446/UE 447), horno nº 6 (UE444/UE445), horno nº 7 (UE 469/UE470), horno nº 8 y nº 9 (UE 444/UE 445), horno nº 10 (UE 447/586/587/584/452/460/585), hornos nº 11 y nº 12 (UE 463/588), horno nº 13 (UE 480/481), horno nº 14 (UE 441/734/590/591), horno nº 15 (UE 439), horno nº 16 (UE 440/469/545), horno nº 17 (UE 438/435, en el interior de la cabaña XXXIII), horno nº 18 (UE 450/451, en el interior de la cabaña XXIII), horno nº 19 (UE 442/448, en el interior de la cabaña XXX) y horno nº 20 (UE 459/580, en el interior de la cabaña XXXV).

Habría que señalar igualmente que hay una serie de pequeños talleres en los que se procesaban objetos de metal, en los que la estructura de combustión no se diferenciaba del resto de hogares localizados en el interior del poblado. Se corresponderían con fraguas como la que se localizó en el interior de la cabaña XXXII.



**Ejemplo de resultado de Microscopía Electrónica para el Bronce al Estaño:**

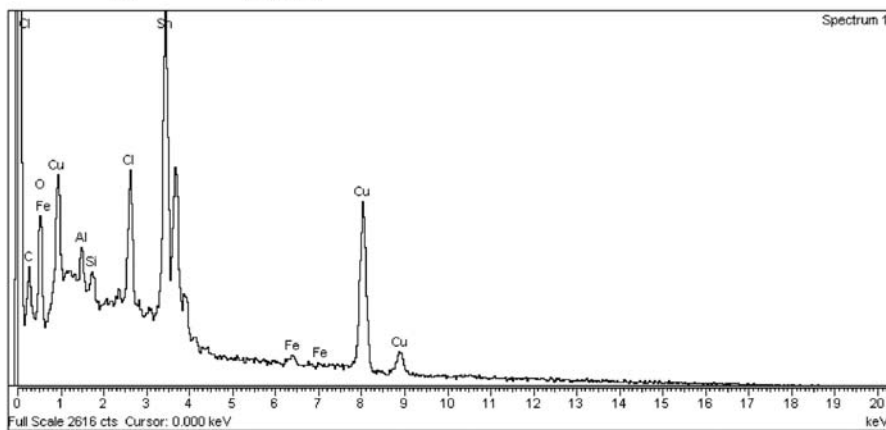


Project: Metais  
Owner: Microscopia. SXAIN  
Site: Punto 1

Label: Spectrum 1  
Collected: 8-Aug-2007 10:44 AM  
Livetime (s): 100.00  
Real time (s): 129.21  
Detector: Silicon  
Window: SATW

Tilt (deg): 0.0  
Elevation (deg): 30.0  
Azimuth (deg): 0.0

Magnification: 750 X  
Accelerating voltage (kV): 20.00  
Process time: 5



Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
O SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM  
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM  
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
Sn Sn 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
C K	1.76	0.4379	9.31	1.94	25.15
O K	4.67	0.5082	21.28	0.99	43.16
Al K	0.38	0.5185	1.70	0.22	2.05
Si K	0.29	0.6333	1.05	0.17	1.21
Cl K	1.61	0.7929	4.71	0.21	4.31
Fe K	0.37	0.9385	0.92	0.18	0.53
Cu K	11.40	0.9078	29.07	0.83	14.85
Sn L	11.68	0.8459	31.96	0.88	8.74
Totals			100.00		

Fig. 19.- Microscopía del bronce al estaño.



*Fig. 20.- Restos de los espacios I y II.*

## CONCLUSIONES

El registro recuperado tras la excavación de este poblado permitió documentar un importante núcleo urbano especializado en la producción de metalurgia del bronce.

En relación con Las evidencias metálicas y sus analíticas, el perfil de la minería y especialmente la paleometalurgia documentada en el poblado de Punta dos Muros aportan datos para comprender el proceso de obtención y transformación de metales durante la fase final de la Edad del Bronce, gracias a que se puede documentar todo el proceso productivo en una abanico cronológico que ocupa la primera mitad del primer milenio a.e.

Pero su singularidad no solo le viene dada por permitir constar ese proceso sino que se deriva de la importancia que este sector económico tiene en el poblado, donde ocupa una buena parte de la superficie de dos de sus tres barrios, por lo que habría que interpretar el poblado como una importante factoría fortificada de producción de metal y de objetos de metal como se constata por la presencia de hornos metalúrgicos, semi-metalúrgicos y de metalistería y fraguas.

En el poblado se obtenían productos de dos tipos de bronce derivados de los dos procesos, uno para cada uno de los dos tipos de bronce que han sido identificados. Los dos tipos de aleaciones claramente diferenciadas, que se corresponden por su caracterización tecnológica a dos utilidades diferentes:

Una, dedicada a objetos de uso funcional como herramientas o armas, con registro de bronce al estaño y otra, a un uso ornamental o votivo-religioso, con registro de bronce ternario de cobre, estaño y plomo.

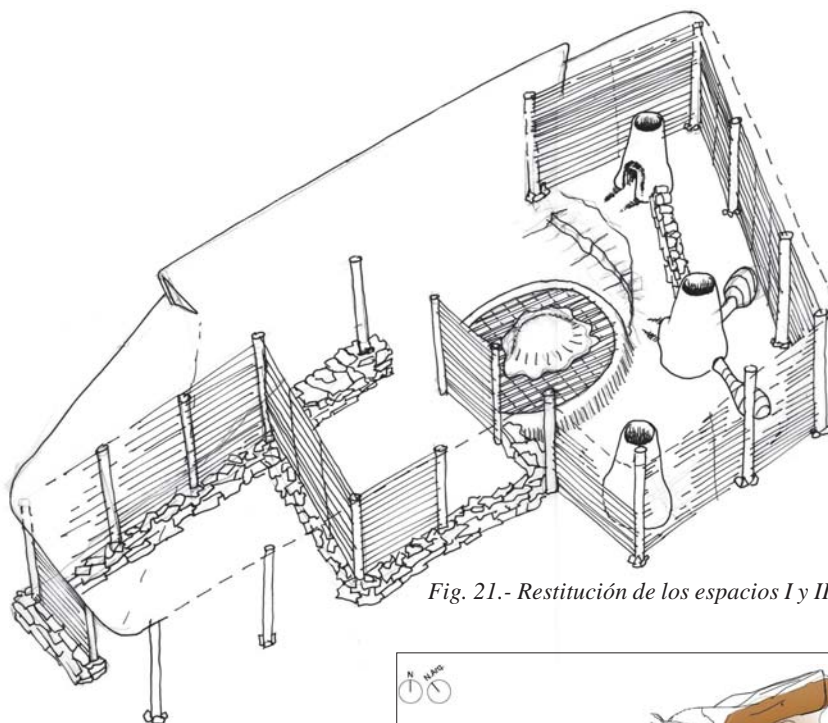


Fig. 21.- Restitución de los espacios I y II

Esta actividad se complementaba con otras artesanales asociadas al proceso productivo y con amplias superficies de almacenamiento donde se acumularían excedentes alimenticios a lo que habría que unir la existencia de una estructura de carácter sacral, lo que convertía al poblado en un punto de referencia del territorio.

La configuración interna del poblado no es ajena al proceso productivo y de acumulación de excedentes que son los que determinan su urbanismo y la tipología de algunas de sus estructuras.

La inadecuación de la ubicación del poblado dado lo escarpado y abrupto del perfil de la costa actual, se matiza al ver la morfología de esa costa en el pasado donde al pie del poblado había un amplio arenal susceptible de servir de varadero de embarcaciones, por lo que a la proximidad de las materias primas (plomo y estaño, el cobre estaba a unos 50 km de distancia) habría que unir su relación con las vías de comunicación terrestres y marítimas.

Teniendo en cuenta todos los factores, estructuras de producción, talleres

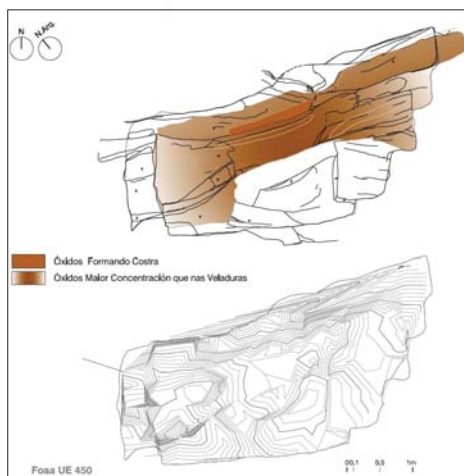


Fig. 22.- Plano de restos del horno cerca de E XXIII.



Fig. 23.- Restos del horno cerca de E XXIII.



Fig. 24.- Vista de la restitución del poblado.

artesanales especializados, almacenes y la ausencia de evidencias de una posible dedicación agropecuaria permiten defender la tesis de que se trataría de una factoría de producción de bronce en el contexto del final de la Edad del Bronce.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLISON, P.M. (ed.) (1999): *The archaeology of household activities*. Routledge, Oxon.
- ALVAREZ NUÑEZ, A. (1986): *Castro de Penalba. Campaña 1983. Arqueología Memorias nº 4*. Xunta de Galicia. Santiago.
- ARGELÉS, T.; BONET, A.; CLEMENTE, I.; ESTEVEZ, J.; GIBAJA, J.; LUMBRERAS, L.G.; PIQUÉ, R.; RÍOS, M.; TAULÉ, M<sup>a</sup>. A.; TERRADAS, X. VILA. Y WÜNSCH, G (1995): *Teoría para una praxis. Splendor «realitatis»*. 1º Congreso de Arqueología Peninsular. Trabalhos de Antropología e Etnología, vol. 35 (1). Porto: 501-507.
- AUDOUZE, F. Y BUCHSENSCHUTZ, O. (1989): *Villes, villages et campagnes de l'Europe Celtique*. Hachette. Bibliothèque d'archéologie. Poitiers.
- AVNER, S.H. (1997): *Introducción a la metalurgia física*. Ed. McGraw-Hill.
- BATE, L.F. (1998): *El proceso de investigación en arqueología*. Crítica. Barcelona.
- BETTENCOURT, A.M. (2001): *Aspectos da metalurgia do Bronze durante a proto-história so entre Douro e Minho. Arqueología 26: 13-40*
- BETTENCOURT, A.M. (2001): *Considerações em torno de alguns aspectos económicos do ferro inicial no noroeste português. Arqueología nº 26: 41-55*
- BROTHWELL, D.R. Y POLLARD, A.M. (ed.) (2001): *Handbook of archaeological sciences*. Chichester.
- CALO LOURIDO, F. (1997): *A cultura castrexa*. Edicións A Nosa Terra. Vigo.
- CALO LOURIDO, F. Y SIERRA RODRÍGUEZ, J.C. (1983): *As orixenes do castrexo no Bronze Final*. En Pereira Menaut, G. (ed): *Estudos de cultura castrexa e de Historia Antita de Galicia*. Santiago. 19 – 85
- CANO PAN, J.A. 2010. «Arquitectura y sociedad en un poblado de la Primera Edad del Hierro en el Noroeste de la Península Ibérica». En Bueno, P.; Gilman, A., Martin Moralez, C. y Sanchez-Palencia, F.J.: *Arqueología, sociedad, territorio y paisaje. Estudios sobre Prehistoria Reciente, Protohistoria y transición al mundo romano en homenaje a M<sup>a</sup> Dolores Fernandez-Posse*. Bibliotheca Praehistórica Hispana, vol. XXVIII. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid 195-210.
- CANO PAN, J.A. (2010): «Excavación arqueológica del castro de Punta de Muros». En: *Nuevas instalaciones portuarias en Punta Langosteira. Años 2005 y 2006*. Autoridad Portuaria de A Coruña, A Coruña, 84-89.
- CANO PAN, J.A. Y GÓMEZ FILGUEIRAS DE

- BRAGE, F. (2010): «La paleometalurgia del poblado de Punta de Muros (Arteixo, A Coruña) en el contexto de la transición Bronce final-Primera Edad de Hierro». En: *Cuaternalario y Arqueología. Homenaje a Francisco Giles Pacheco*. ASPHA / Diputación de Cádiz. Cádiz. 253-261.
- CARBALLO ARCEO, X. (1996): *O espacio na cultura castrexa galega*. En Hidalgo cuñaro, J.M. (coord.): A cultura castrexa galega a debate. Tui: 105-138.
- CHAUSIN C y HILLY G. (1972): *Metalurgia*, Ed. Urmo.
- CERT, C. (2003): « Les outils de métallurgistes de La Capitelle du Broum à Péret (Hérault). Données préliminaires dans le contexte régional ». En: Fernández Manzano, J.; Herrán Martínez, J.I. (ed): *Mineros y fundidores en el inicio de la Edad de los Metales. El Midi francés y el Norte de la Península Ibérica*. Editorial MIC, León. 59-69
- CUDDY L.J. y JONAS J.J. (1988): *Encyclopaedia of material science and engineering*. Vol. I. Pergamon Press, Oxford.
- DUPONCHELLE J. (1920): *Tratado práctico de fundición y moldeo de metales y aleaciones*. Ed. Araluce.
- EIBNER, C. (1982): «Kupférezberghau in Österreichs Alpen». En: Hänsel (ed): *Südosteuropa zwischen 1600 und 1000 v. Chr. Prähistorische Archäologie in Südosteuropa*, 1, Berlin, 399-408.
- FERNÁNDEZ-POSSE, M<sup>a</sup> D. (1998): *La investigación protohistórica en la Meseta y Galicia*. Síntesis. Madrid.
- FERNÁNDEZ-POSSE, M<sup>a</sup> D. ET ALII (2002): *Las Medulas. Patrimonio de la Humanidad*. Catálogo de la exposición. Madrid 16 de diciembre de 2002 a 23 de marzo de 2003. Junta de Castilla y León. Salamanca.
- FERNÁNDEZ-POSSE, M<sup>a</sup> D.; SÁNCHEZ PALENCIA, F.J.; FERNANDEZ MANZANO, J. Y OREJAS, A. (1994): *Estructura social y territorio en la cultura castreña prerromana*. 1º Congreso de Arqueología Peninsular. *Trabalhos de Antropología e etnología* vol 34 (3-4): 101-212
- GOLDENBERG, G. (1996): «L'Exploitation du cuivre dans les Alpes Autrichiennes à L'Âge du Bronze». En: Mordant, C.; Pernot, M. y Rychner, V. (edit) 1996: *L'Atelier du bronzier en Europe, du XX<sup>e</sup> au VIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Production, circulation et consommation du bronze*. Actes du colloque international Bronze '96. Neuchâtel et Dijon. 3. Comité des travaux historiques et scientifiques. París, 9-23
- GÓMEZ FILGUEIRAS, F. (2003): «Paleometalurgia del yacimiento de la isla de Sta. Comba. Cobas, Concello de Ferrol». En: *Sta. Comba, un referente Arqueológico de la Costa Ferrolana*. Sociedad Cultural Columba. Fene 67-156
- GONZALEZ PRATS, A. (1992): «Una vivienda metalúrgica en Peña Negra (Crevillente-Alicante). Aportación al conocimiento del Bronce Atlántico en la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria*, 49: 243-257
- GONZÁLEZ RUIBAL, A. 2007: *Galaicos. Poder y comunidad en el noroeste de la Península Ibérica (1.200 a.C. – 50 d.C.)*. 2 vol. Brigantium Vol 18 y 19 (2006-2007). A Coruña.
- HANSEN H, MOFFAT W.G, y MCGRAW-HILL E. (1976): *Constitution of binary alloys. Binary phase diagram hand book*.
- HERENGUER J. (1976): *Metalurgia especial*. Ed. Urmo.
- HUMMELL R.E. (2004): *Understanding material science. History, properties and applications*. Ed. Springer.
- KENT, S. (Ed) (2001): *Domestic architecture and the use of space. An interdisciplinary cross-cultural study*. Cambridge University press. Cambridge.
- LIDE R.D. (1981): *Hand book chemistry and physics*. Ed CRC.
- LINCH C.A. (1989): *Materials scienc*. ED. CRC.
- MANNONI, T.; GIANNICCHEDDA, E. (2007): *Arqueología. Materias, objetos y producciones*. Ariel Prehistoria. Barcelona
- MOHEN J.P. (1992): *Metalurgia Prehistórica*. Introducción a la paleometalurgia. Ed Masson S.A., Barcelona
- MONTEIL C, PORTEVIN ET ALII. (1957): *Techniques de L'ingénieur- Metalurgie*. Ed. Techniques de L'ingénieur. Paris.
- MORDANT, C.; PERNOT, M. Y RYCHNER, V. (ed.) (1998): *L'atelier du bronzier en Europe du XX<sup>e</sup> au VIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Du minéral au métal du metal à l'objet*. Actes du colloque international «Bronce 96» Nueuhôtel et Dijon, 1996. Tome II (sesión de Dijon). París.
- MORDANT, C.; PERNOT, M. Y RYCHNER, V. (ed.) (1998): *L'atelier du bronzier en Europe du XX<sup>e</sup> au VIII<sup>e</sup> siècle avant notre ère. Production, circulation et consommation du bronze*. Actes du colloque international «Bronce 96» Nueuhôtel et Dijon, 1996. Tome III (sesión de Dijon). París.
- MORRAL FR, JIMENO E y MOLERA P. (1985): *Metalurgia general*. Vol. I y II. Ed. Reverté.
- PEÑA SANTOS, A. DE LA (1988): «Metalurgia galaica de la transición bronce\_Hierro: el castro de Torroso». *Espacio, Tiempo y Forma*, Serie I, Prehistoria t,1. UNED, Madrid: 339-360.
- PEÑA SANTOS, A. DE LA (1992): *Castro de Torroso (Mos, Pontevedra)*. Síntesis de las Memorias de las Campañas de excavaciones 1984-1990. Arqueología Memorias nº 11. Xunta de Galicia. Santiago.



Fig. 25.- Vista aérea del conjunto del poblado.



Fig. 26.- Cabaña VII con horno metalúrgico.

- PEÑA SANTOS, A. DE LA (1996): *A secuencia cultural do mundo castrexo galaico*. En Hidalgo Cuñarro, J.M. (coor.): *A cultura castrexa galega a debate*. Tui: 63-103
- PERO SANZ J.A y DOSSAT E.E. (2004): *Materiales metálicos*.
- RUIZ-GALVEZ PRIEGO. M<sup>a</sup>. L. (1998): *La Europa Atlántica en la Edad del bronce. Un viaje a las raíces de la Europa Occidental*. Crítica. Barcelona.
- SILVA, A.C.F. DA (1986): *A cultura castreja do Noroeste de Portugal*. Museu Arqueológico da Citania de Sanfins, Paços de Ferreira.
- SMITH W.F y McGRAW-HILL E. (1992): *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los metales*.
- VV.AA. (1998): *Introducción a la ciencia de los materiales*. Vol. I. Pergamon Press, Oxford.
- WIBERG E. (2001) *Química inorgánica*. Ed. Marin.