

DRA. María D. Arena

SERIE: Difusión

AÑO 2

Nº 7

Diciembre 1990

Análisis Metalográfico de la Placa de Lafone Quevedo

Por

Heraldo Biloni

Francisco J. Kiss

Tulio Palacios

Daniel I. Vassallo.



**Provincia de Buenos Aires
Comisión de
Investigaciones Científicas**

Calle 526 entre 10 y 11

1900 - La Plata

Tels.: 4-3795/21 - 21-7374/4-9581



**GOBIERNO DEL PUEBLO
DE LA PROVINCIA
DE BUENOS AIRES**



BANCO PROVINCIA
El Banco de la Provincia de Buenos Aires

Autoridades de la Prov. de Buenos Aires

Gobernador

Dr. Antonio Cafiero

Vicegobernador

Dr. Luis María Macaya

**AUTORIDADES DE LA COMISION DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS DE LA PROV. DE BUENOS AIRES**

PRESIDENTE

Ing. Néstor Omar BARBARO

DIRECTORES

Ing. Luis Pascual TRAVERSA (Vicepresidente)

Dr. Carlos CAÑELLAS

Dr. Roberto GRATTON

Dr. Mario TERUGGI

SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Dr. Antonio G. REDOLATTI

COORDINADOR

Dr. Héctor B. Lahitte

I.- INTRODUCCION

Es conocido el hecho de la existencia de una desarrollada tecnología metalúrgica en América en el momento de la conquista europea en las postrimerías del siglo XV de nuestra era. Numerosos trabajos han determinado, asimismo, las distintas etapas y regiones donde la tecnología metalúrgica estuvo enraizada en las culturas precolombinas. Desde este punto de vista el lector es referido a los trabajos de Duddley Easby Jr (1) y Rex Gonzalez (2), el primero relacionado con el desarrollo de la Metalurgia en todo el Continente y el segundo con la región del NO argentino.

Precisamente de la región del NO argentino es que proviene la llamada Placa metálica de LAFONE QUEVEDO perteneciente al Museo de La Plata de la Universidad Nacional de La Plata en Argentina, que corresponde, según Rex Gonzalez (2), a la cultura Aguada y fue encontrada por el científico francés Lafone Quevedo a principios del presente siglo en la localidad de Andalgalá, Provincia de Catamarca. Según el mismo autor (2) la época de la construcción de la placa Lafone Quevedo se remonta alrededor del año 700 de nuestras era.

*El presente trabajo intenta, mediante la aplicación de modernas técnicas metalográficas, **determinar el o los procesos metalúrgicos mediante los cuales fue construida la referida placa.** Para ello las observaciones realizadas serán analizadas a través de la óptica que han impuesto en sus investigaciones Biloni y sus colaboradores (3-4) quienes postulan que la interpretación del mapa de segregación producido en una pieza a través de los mecanismos de solidificación que han actuado durante el proceso de fundición, pueden dar las pautas de la historia térmica del proceso. Asimismo este mismo mapa de segregación primaria permanece como un testigo del proceso de fundición y su correlación con estructuras emergentes de procesos posteriores (deformación, recocido, etc.) ha de permitir una visión global de la tecnología metalúrgica empleada.*

II.- PARTE EXPERIMENTAL Y

1.- Descripción de la pieza

La Figura 1 corresponde a vista general de la placa de Lafone Quevedo, la que tiene una forma circular con un diámetro de 10,7 cm. En la pieza aparece un personaje central escoltado por dos animales laterales de diseño estilizado. La figura es plana salvo la nariz del personaje central y los hocicos de los animales.

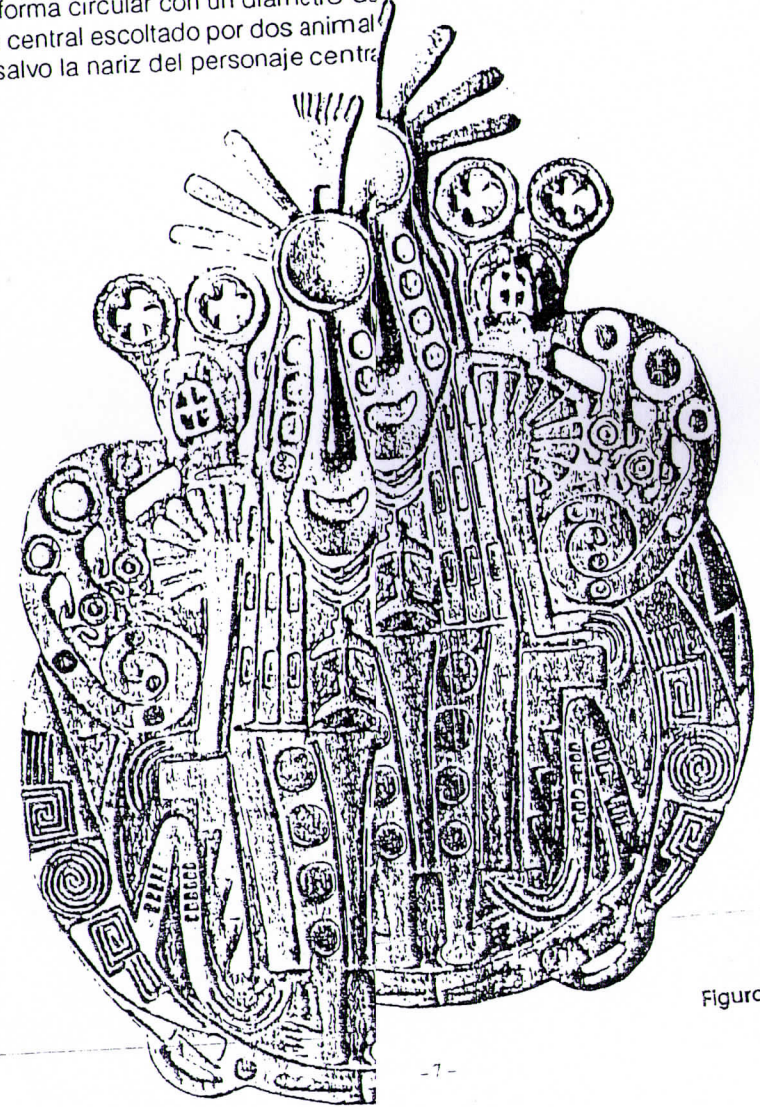


Figura 1

La Figura 2 indica estas zonas que se encuentran en otro plano con respecto a la placa. La decoración en la placa se obtuvo por la utilización de dos niveles. El espesor de la pieza es muy constante; con un micrómetro graduado a la centésima de milímetro se midieron espesores en 27 lugares. El promedio obtenido fue de 2,99 mm. Veintiún puntos tenían dimensiones $3,00 \pm 0,12$ mm. Los valores extremos encontrados fueron 2,77 mm y 3,17 mm. En un punto en la zona de bajo relieve el espesor medido fue de 2,00 mm.

Es de destacar la **finura** de ciertos detalles ornamentación, por ejemplo en el **hocico de los animales**, Figuras 2a y 2b.



Figura 2 A



Figura 2 B

Estos **hocicos son huecos** tal como puede apreciarse en la Figura 3 y los ojos están unidos a lo que sería la cavidad de la boca animal, tal como lo demuestra esquemáticamente la Fig. 4

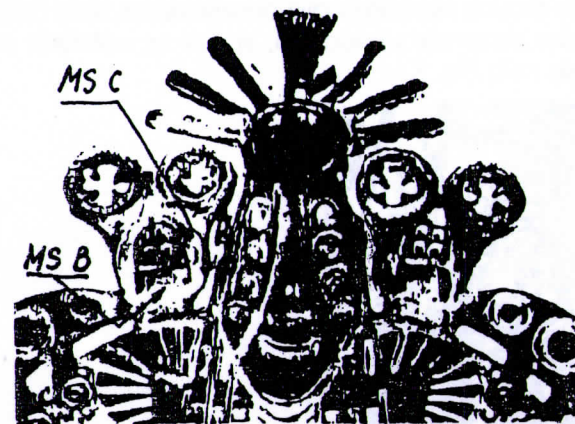


Figura 3

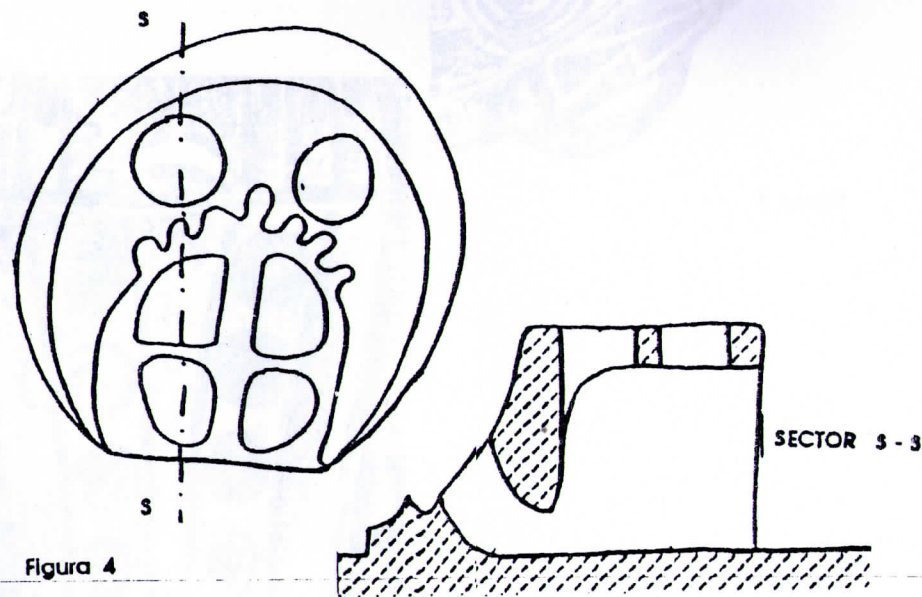


Figura 4

Los espirales en bajo relieve son de una gran delicadeza, Fig. 5, siendo la pieza en general, de una gran precisión en su trazado.

Sin embargo presenta lo que parecería ser un defecto de terminación. En efecto, los dos círculos superiores que ornamentan la falda del personaje en el lado derecho presentan un escalón, el cual es señalado en la Fig. 6 y esquematizado en la Fig. 7.



Figura 5

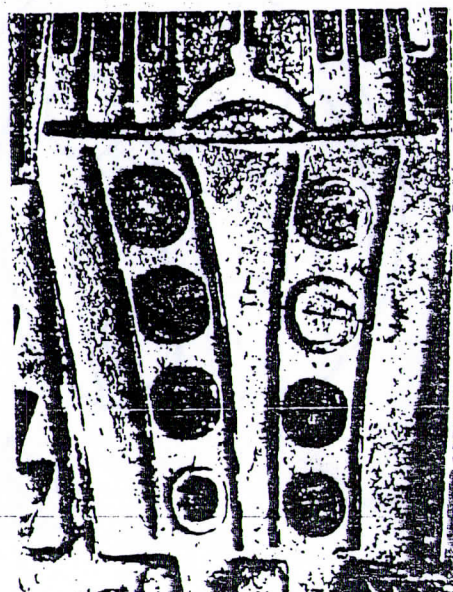


Figura 6

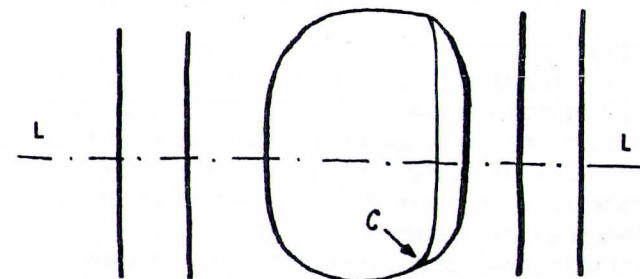
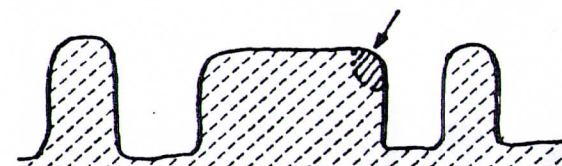


Figura 7

MATERIAL REMOVIDO DURANTE EL RETOQUE



SECCION L - L

En adición a lo descrito se pueden observar lo que podrían ser tres ojales de sujeción señalados con 0 en la Fig. 8a). El reverso de la pieza no presenta mayores puntos de interés.

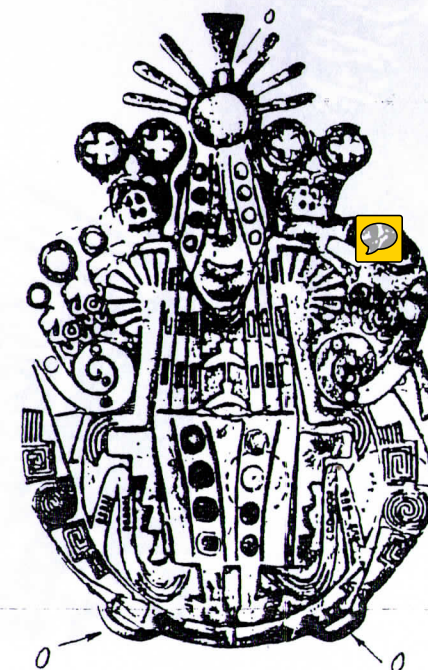


Figura 8 a)

Los espirales en bajo relieve son de una gran delicadeza, Fig. 5, siendo la pieza en general, de una gran precisión en su trazado.

Sin embargo presenta lo que parecería ser un defecto de terminación. En efecto, los dos círculos superiores que ornamentan la falda del personaje en el lado derecho presentan un escalón, el cual es señalado en la Fig. 6 y esquematizado en la Fig. 7.



Figura 5

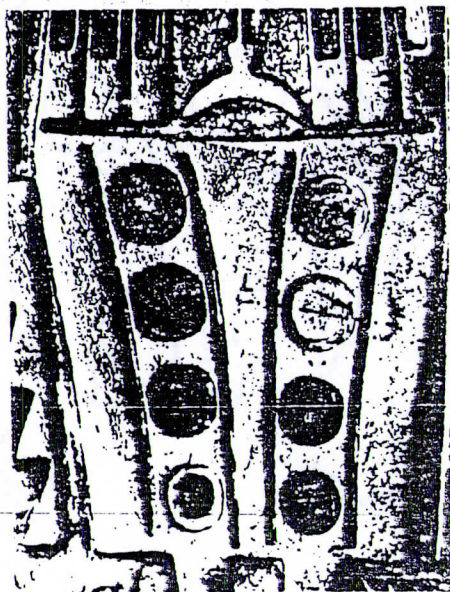


Figura 6

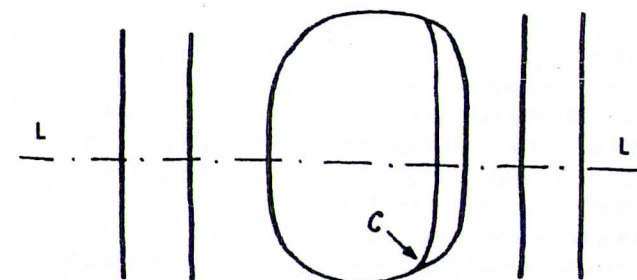


Figura 7

MATERIAL REMOVIDO DURANTE EL RETOQUE



SECCION L - L

En adición a lo descrito se pueden observar lo que podrían ser tres ojales de sujeción señalados con 0 en la Fig. 8a). El reverso de la pieza no presenta mayores puntos de interés.

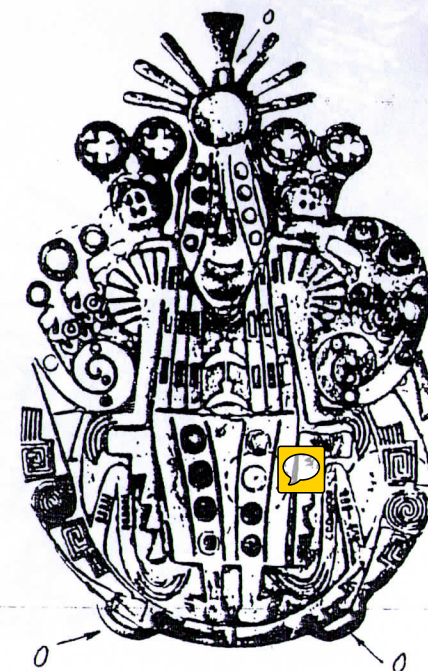


Figura 8 a)

2.- Análisis químico.

Se realizó un análisis químico cualitativo no destructivo mediante la microsonda láser del Departamento de Materiales de la CNEA en las dos posiciones indicadas como ML1 y ML2 en la Fig. 8b). La pieza fue bombardeada por series de cinco disparos de láser en diferentes lugares de cada zona. El microplasma obtenido fue sobreexcitado por una chispa entre electrodos de carbono y la radiación emitida analizada en el espectrógrafo y registrada fotográficamente. Se detectaron líneas de los siguientes elementos: Cu, Sn, Fe, Ni, Sb, As, Bi, Ag y Si.

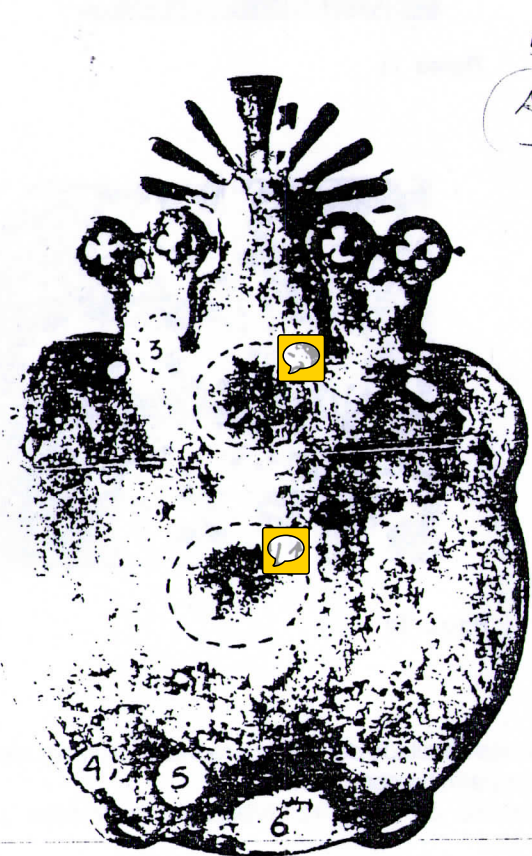


Figura 8 - b)

A los efectos de realizar un análisis cuantitativo se extrajeron dos esquirlas de muy pequeño tamaño (del orden de 0,1mg) en las zonas marcadas MSB y MSC de la Fig. 3.

Las muestras fueron incluidas en resinas epoxi y pulidas metalográficamente hasta diamante fino. Posteriormente se las metalizó con una delgada capa de Cobre. Fue utilizada una microsonda electrónica CAMECA realizándose el análisis cuantitativo en 20 puntos diferentes de cada muestra. El promedio de las determinaciones se consiguió por medio del programa de computación CR 2. El Aluminio fue obtenido por diferencia. Las concentraciones corregidas fueron las siguientes: (Tabla I).

	MSB	MSC
Cu	94,01	93,37
Sn	2,13	2,59
As	0,27	0,30
Ca	0,18	0,40
Sb	0,08	0,23
Bi	0,01	0,26
Ni	0,10	0,02
Fe	0,06	0,04
Si	0,22	0,07
Al	2,92	2,71

TABLA I: Composición química de la zona MSB y MSC, Figura 3.

El alto valor del contenido de Aluminio que se observa en el análisis se debe a que en el programa de computación el contenido de este elemento se encuentra por diferencia. Como consecuencia se acumulan los errores de los otros elementos.

3.- Examen Metalográfico

Se realizó un examen metalográfico en el anverso y reverso de la pieza, en las zonas enmarcadas con puntos en las Figuras 8a y 8b. Para no dañar la pieza en modo alguno se emplearon técnicas de metalografía no destructiva desarrollados por P. A. Jacquet (5-6). El método consiste en: a) pulido "in situ" en forma electrolítica por medio del método del "tampon" (5-6) con un reactivo a base de ácido fosfórico y etanol; b) ataque electrolítico con el mismo reactivo al reducir la densidad de corriente con un menor voltaje ó c) ataque químico con el reactivo clásico para cobre de amoníaco, agua oxigenada y agua por partes iguales. d) En caso necesario, cuando el área a observar no era accesible al microscopio, se hicieron observaciones sobre réplicas realizadas con barniz nitrocelulósico.

Las Figuras 8a y 8b muestran el aspecto que presentó la pieza luego de realizado el tratamiento de preparación superficial. Se ha enmarcado con líneas de trazos las zonas examinadas:

Reverso de la placa:

Previo al pulido electrolítico se removió la película de productos de corrosión que presentaba superficialmente la placa con papeles abrasivos. Las estructuras encontradas en todas las zonas examinadas (zonas 3, 4, 5 y 6 de la Fig. 8b) presentaron las mismas características estructurales, las que pueden ser resumidas de la siguiente manera: una subestructura típica de solidificación de tipo celular dendrítico (3), Figs. 9 y 10 y zonas de granos

recristalizados con presencia de maclas (Figs. 11 y 12).

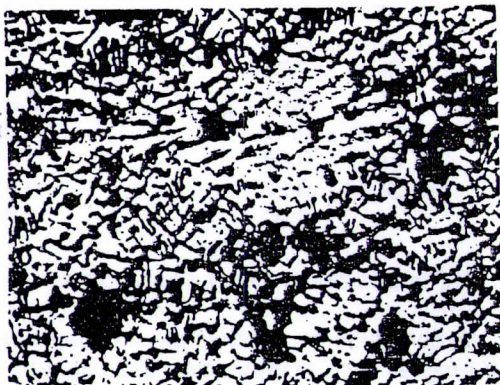


Figura 9 50 x

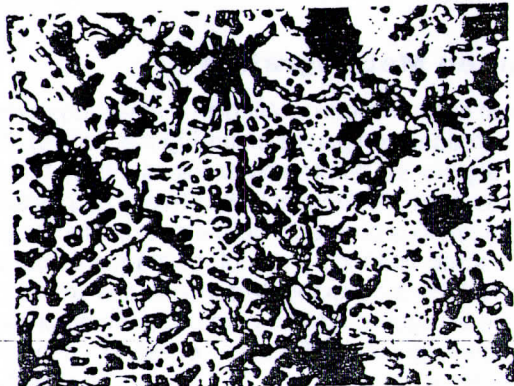


Figura 10 50 x

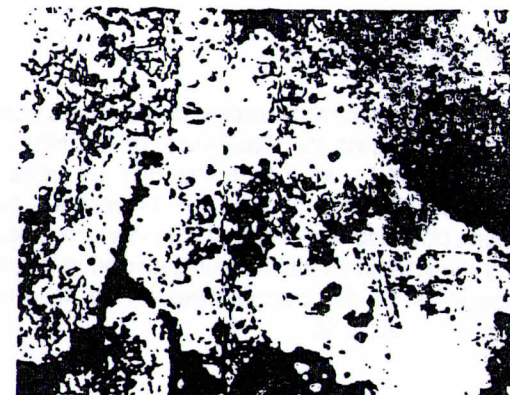


Figura 11 500 x

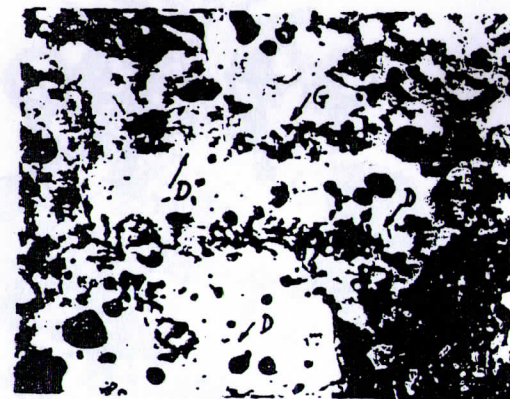


Figura 12 200 x

Un análisis más detallado del material recristalizado por medio de pulidos más prolongados permitió comprobar:

- La existencia de zonas recristalizadas asociadas a líneas o bandas entrecruzadas.
- La variación del tamaño de grano recristalizado asociado a dichas líneas de entrecruzamiento en función de la profundidad del pulido, esto es de distancia

desde la superficie. Mientras que en la misma el tamaño de grano determinado fue extremadamente fino (del orden de 5 μ), Figs. 13, 14 y 15, a mayores profundidades se determinó un tamaño de grano del orden de los 20 a 30 μ , Fig. 16.

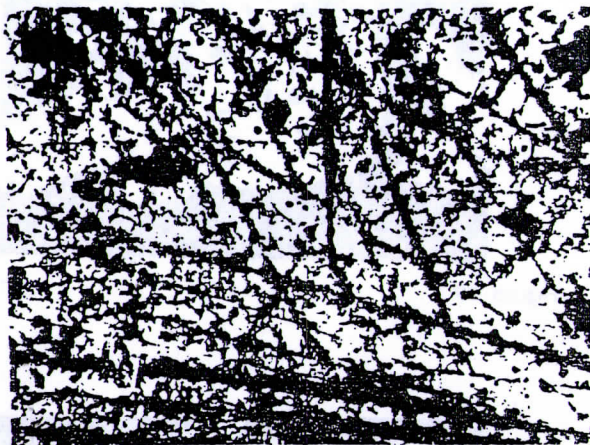


Figura 13

50 x

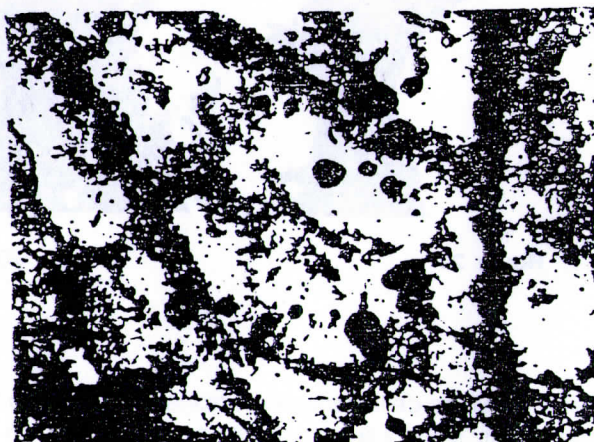


Figura 14

200 x

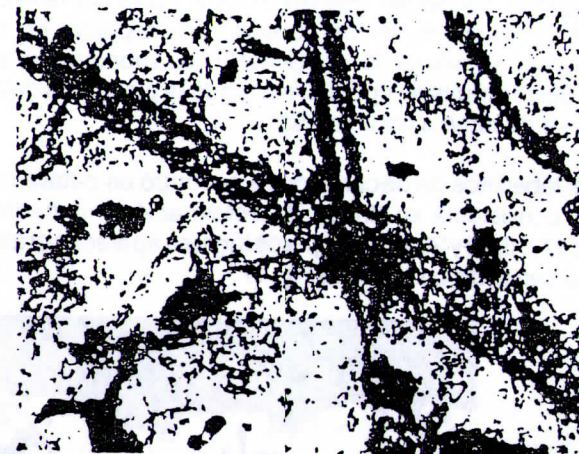


Figura 15

500 x

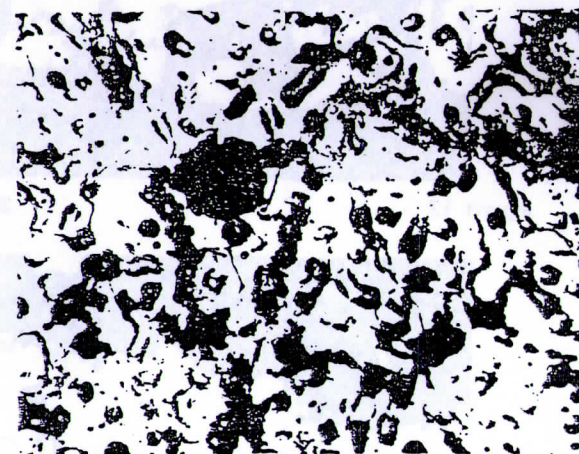


Figura 16

100 x

Anverso de la placa:

Corresponde a la cara decorada de la pieza. En este caso, por razones de máxima preservación de la pieza, previo al pulido electrolítico no se realizó el pulido mecánico de las zonas analizadas. Sin embargo no hubo dificultades mayores en la detección de la estructura. Fueron analizadas metalográficamente diferentes partes consideradas de interés: i) laberintos de decoración, ii) nariz

del personaje, iii) detalle que presenta la supuesta falla de terminación ya descrita y iv) unión de los hocicos con la placa. En todos los lugares examinados se volvió a encontrar una subestructura subyacente de solidificación del mismo tipo del reverso de la placa. Los detalles estructurales anexos se discuten a continuación:

i) En los laberintos de decoración se encontró un detalle no observado en el reverso consistente en líneas de deformación, marcadas con MD en las Figuras 17, 18, 19 y 20. En muy pocos lugares aparecen granos recristalizados, como el señalado con R en la Fig. 17.



Figura 17 200 x



Figura 18 200 x



Figura 19 200 x



Figura 20 200 x

ii) El análisis detallado de la nariz del personaje central sólo reveló una capa superficial recristalizada y la subestructura de solidificación asociada a ella. Figs; 21 y 22.

En el caso de los ítems iii) y iv) no se detectaron detalles estructurales anexos, sobre todo en el caso de la unión de los hocicos que pudieran sugerir la existencia de cualquier tipo de soldadura.

III.- ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

a) El análisis químico indica que el material con el cual fue fabricada la pieza consistió esencialmente de un bronce de bajo contenido de Sn (2-2,5% Sn). Esto es, una aleación monofásica del diagrama de equilibrio Cu-Sn. Las impurezas presentes en la Tabla I, corresponden sin duda a la materia prima utilizada y al método de fabricación de la época. Ya ha sido aclarado que el relativamente alto porcentaje de Aluminio no refleja realmente la cantidad existente en el material.

b) El resultado más destacable de la observación metalográfica es la existencia de una subestructura de solidificación en toda la pieza con un espaciado intercelular dendrítico del orden de los 100μ, ver Figuras 10, 16, 21 y 22. Ello indica que la velocidad de enfriamiento durante el proceso de solidificación fue del orden de 1 a 0,1°C/min. Este resultado es extrapolado para la aleación en estudio de los resultados de Spear y Gardner (7) obtenidos con aleaciones comerciales de Aluminio. Según estos trabajos y los de otros autores, sumariados por Flemings (8), existen una relación directa entre el espaciado celular dendrítico y la velocidad de enfriamiento.

La baja velocidad de enfriamiento durante el proceso de solidificación observada en este caso indica que el molde utilizado fue de baja difusividad térmica, muy probablemente de tipo cerámico.

Respecto al método o técnica empleada en la fundición, el hecho que las figuras de los animales que rodean al personaje central están unidos al resto de la placa por una subestructura de solidificación continua, sin rastros de estructuras o subestructuras que denoten cualquier tipo de soldadura, unido al detalle de la conexión entre los ojos y la boca de los animales, ver Figuras 4, y a la estructura de solidificación de la nariz sugiere que el procedimiento empleado ha sido el de "cera perdida". Al hecho que el reverso de la pieza sea plano podría surgir que el molde no necesariamente debe haber rodado completamente la pieza sino que tal como lo indica la Fig. 23 podría haber estado abierto en la parte superior.

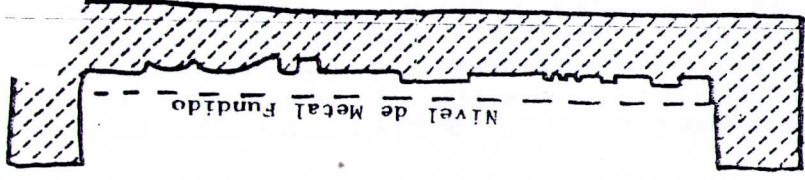


FIGURA A - 1



Figura 21
120 x

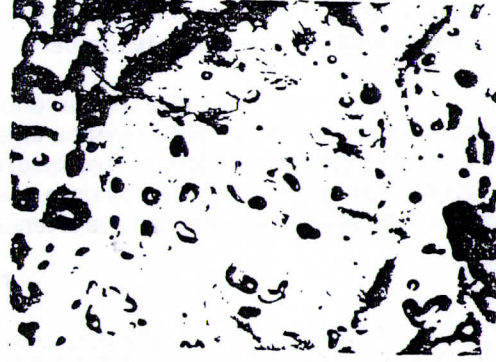


Figura 22
200 x

Ello explicaría el hecho que no fuera detectado en la inspección de la placa el lugar de la inserción de montantes.

A nuestro juicio los pasos en el método de fundición han sido similares a los detallados por Duddley T. Easby Jr. (1). En este caso particular serían:

- i) Producción de un modelo de cera exactamente igual al deseado.
- ii) Recubrimiento del modelo de cera con algún tipo de emulsión, como la utilizada por ejemplo por los Aztecas (1), consistente en ese caso de polvo de charcol con agua a los efectos de asegurar una superficie limpia y tersa capaz de dar una buena terminación a la pieza fundida. Este tipo de emulsión, cualquiera fuera, es similar en sus efectos a la utilizada en nuestros días para la fundición de precisión en que se utiliza silicato de potasio o sodio y grafito.
- iii) Recubrimiento del modelo con capas de chamote con aglomerantes de manera de formar el molde, ver Fig. 23.
- iv) Calentamiento del moldé de manera de eliminar la cera, quedando la morfología que se deseaba obtener.
- v) Calentamiento del molde a alta temperatura de manera de facilitar el llenado de metal líquido colado de todos los detalles del molde. Esta operación, unida a la baja conductividad térmica del molde utilizado, explica el tamaño relativamente grosero de la parte de la subestructura de segregación que da, como ya se ha dicho, la pauta de la baja velocidad de enfriamiento del metal durante el proceso de solidificación (8).

Este método descriptivo explicaría a nuestro juicio algunos detalles de la decoración de la falda, que se observa con claridad en la Fig. 6. Algunos de los círculos de la falda presentan un aspecto ovalado con segmentos del borde, rectos y paralelos a la línea de decoración contigua. A veces este borde es muy fino. Parecería ser el producto de haber realizado primeramente el círculo, luego al tazar o retocar la línea contigua, el círculo se habría deformado. Un aspecto semejante presentan algunos detalles de la cola de los dos animales. La falla del detalle (Fig. 7) podría haberse originado en un retoque del molde, luego de eliminar la cera. Es posible que al tratar de limpiar o retocar la zona indicada en la Fig. 24, pasando un instrumento entre las saliencias que luego producirían los círculos se haya producido el daño. Otra posibilidad es un error durante el grabado del modelo, avalada por la existencia de una línea de acuerdo, lo que se señala con una letra C en la Fig. 24.

c) Se hace necesario explicar la estructura de recristalización y las líneas de deformación observadas en diferentes partes de la placa, tanto en su anverso cuanto en su reverso. Considerando que la pieza fue producida por fundición, lo más probable por el método de cera perdida, las estructuras de deformación y recristalización observada sin duda se deben al pulido final y retoques de terminación a los que fuera sometida la pieza luego de fundida.

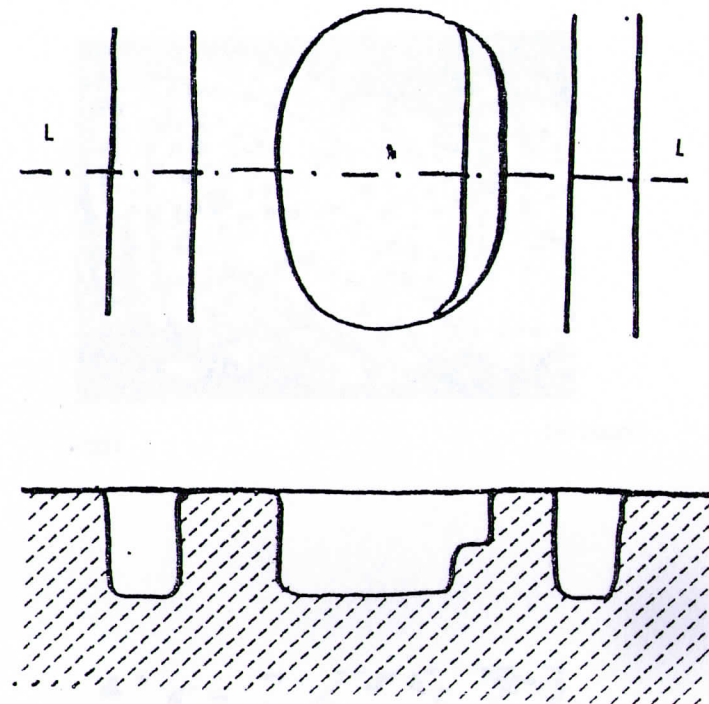


Figura 24

SECCION L - L

Antes de continuar el análisis de los resultados obtenidos creemos pertinente hacer un breve resumen del fenómeno de recristalización de un metal o aleación: en la recristalización de un metal deformado se forma un conjunto de granos totalmente nuevos a través de un proceso de nucleación y crecimiento. Las variables que regulan el proceso son:

i) Deformación: Cuando mayor sea la deformación inicial mayor será el número de núcleos presentes y por consiguiente (2) medida que disminuye la deformación aumenta el tamaño de grano final. Por debajo de una **deformación crítica** (del orden del 5 al 10% según el material) no se produce recristalización.

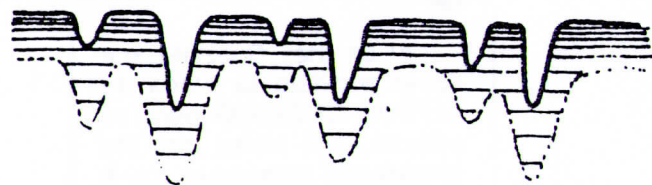
ii) Temperatura: Siendo la recristalización un proceso activado, el tiempo de recristalización variará con la temperatura siendo menor cuanto mayor sea la temperatura de calentamiento a que la muestra deformada es sometida. Un criterio que se utiliza es el tiempo necesario para obtener el 50% de la estructura recristalizada para cada temperatura.

iii) Crecimiento del grano: Si se continúa calentando una probeta que ha recrystalizado, con tiempos crecientes aumenta el tamaño de grano a través de un proceso en que unos eliminan a otros a los efectos de disminuir la energía interfacial total del sistema.

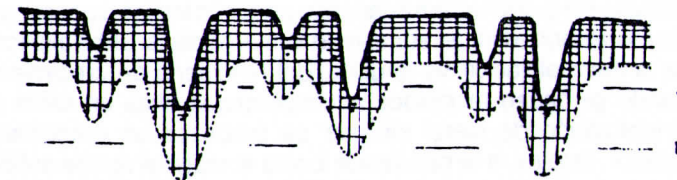
A la luz de estos conceptos pueden ser interpretadas las estructuras observadas:

1) Reverso de la placa:

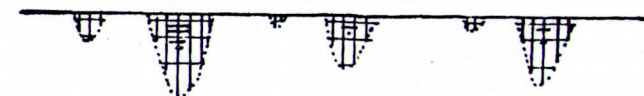
De las Figuras 13 a 16 se infiere que la zona recrystalizada corresponde a deformación superficial por abrasivos. Es sabido que el pulido mediante abrasivos produce deformación superficial (9). En materiales de bajo punto de fusión y alta pureza como el Zn 99,99% (punto de fusión 419°C) la recrystalización del metal sometido a abrasión se produce a temperatura ambiente en forma prácticamente instantánea. En este caso la ubicación de los granos recrystalizados formando líneas es una prueba que se considera concluyente en cuanto a que los mismos se han originado por abrasión. Granos de abrasivos de mayor tamaño han de haber producido zonas deformadas más profundas que persisten aún luego de haber removido la capa de grano recrystalizado superficial. Por otra parte, en el proceso de recrystalización por abrasión es típico una disminución de la deformación con la profundidad (9). Tal como se ha visto, a medida que disminuye la deformación mayor será el tamaño de grano, hecho observado en el estudio del reverso de la placa. La Fig. 25 indica esquemáticamente una sección de material normal a la superficie. En el esquema A están indicadas las rayas o surcos producidos por el abrasivo así como la deformación. Cuanto más cercanas están las líneas, mayor deformación. En B se ha esquematizado el material recrystalizado. Las líneas horizontales próximas indican tamaño de grano pequeño.



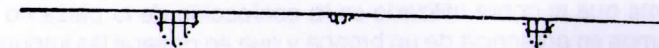
A - Material Deformado



B - Material Recrystalizado



C - Material Pulido hasta nivel a



D - Material Pulido hasta nivel b

Figura 25

En C se muestra como luego de pulir hasta el nivel **a** del esquema B se observan zonas de estructura de fundición y restos de las zonas recrystalizadas asociadas a rayas. Ello correspondería a lo observado en la Fig. 13. En D se esquematiza la misma zona luego de pulir al nivel **b** del esquema B. Aumenta la superficie ocupada por la estructura de fundición no recrystalizada observándose pocas líneas de material recrystalizado. Correspondería a la Fig. 16.

Tal como se ha discutido, es casi seguro que la deformación se habría producido por abrasión, sin embargo no aparecen tan claras las circunstancias en las cuales el material recrystalizó. Tal como fuera detallado la recrystalización es un fenómeno dependiente de la temperatura y del tiempo. Cuanto más baja sea la temperatura más lento será el proceso de recrystalización. Es posible asegurar a qué temperatura recrystalizó el material superficial de la placa Lafone Quevedo la que pudo haber sido sometida a: 1) un calentamiento luego de la fabricación; 2) un calentamiento luego del hallazgo. La primera hipótesis no parece consistente con el proceso de fabricación toda vez que no parece lógico que la pieza haya sido calentada luego de haberle dado lustre, pues se hubiese oxidado como consecuencia de la temperatura. Por otra parte informaciones suministradas por arqueólogos del Museo de Historia Natural de La Plata (10) la segunda posibilidad debe ser descontada.

Figura 25

El tamaño del grano extremadamente pequeño inclina a pensar que el material ha recrystalizado a temperaturas relativamente bajas. Se ha explicado asimismo que la recrystalización va seguida del fenómeno de crecimiento de grano. Cuando se hacen recocidos a temperaturas altas es difícil producir una recrystalización de metal sin que se produzca un crecimiento de grano posterior. Esto es, a temperaturas bajas el material recibe suficiente energía para recrystalizar pero no la suficiente para que el grano crezca. A mayores temperaturas la energía suministrada al material es suficiente como para producir la recrystalización y el crecimiento de grano posterior. Luego, si la pieza hubiera sido calentada para realizar alguna operación tecnológica (recocido, deformación plástica, soldadura, etc.) la temperatura debería haber sido tal que hubiera producido crecimiento de grano.

Eliminada esta posibilidad, y las dos anteriores, surge como alternativa el hecho que el metal pueda haber sido recrystalizado a temperatura ambiente durante el largo periodo transcurrido entre su fabricación y su hallazgo (del orden de los 1.200 años). El cobre de alta pureza recrystalizado a temperatura ambiente en tiempos del orden de los 5 años (11), es decir un lapso mucho más breve que la antigüedad de la pieza. Es necesario, sin embargo, tener en cuenta que el cobre utilizado en la confección de la pieza no es puro, que estamos en presencia de un bronce y que en general las impurezas retardan el fenómeno de recrystalización. Sin embargo, el tiempo con que contó la pieza arqueológica para recrystalizar es dos órdenes de magnitud superior al que necesita el cobre de alta pureza, es decir un tiempo considerable superior por lo que no se puede destacar la hipótesis de una recrystalización a temperatura ambiente. Cuando decimos "temperatura ambiente" tampoco podemos definir cuales han sido los cambios termales alrededor de la pieza arqueológica por más de 12 siglos.

2) Anverso de la placa:

El hecho que sólo se encontrara la capa superficial recrystalizada sin rastros de zonas de mayor abrasión, como en el reverso de la pieza, indica por un lado que el pulido fue más cuidadoso y por otro que quizás se utilizaron abrasivos más finos. Es posible que el reverso haya sido pulido en forma más vigorosa para un mejor dimensionamiento del espesor de la pieza presuntivamente colada a "molde abierto", Fig. 23.

Respecto a las marcas de deformación de los laberintos, Figs. 17 a 20, y prácticamente a la ausencia de recrystalización, ello parece indicar que aquellos fueron terminados o repasados con alguna herramienta o buril ya sea para eliminar imperfecciones de la fundición o la película de óxido formado durante el proceso de fabricación. Las líneas de deformación, resultado del proceso de deslizamiento de los planos cristalográficos que intersectan la superficie del metal, (12) son el testigo de la deformación realizada, muy

posiblemente en el límite de lo que se ha definido como "deformación crítica". Esto es lo que ha evitado la aparición de granos recrystalizados salvo en aquellos donde seguramente la deformación local superó la deformación crítica (Punto R Fig. 17).

CONCLUSIONES

1) La Placa LAFONE QUEVEDO está constituida en un material cuya composición corresponde a un bronce de bajo tenor de Sn con diversas impurezas (As, Ca, Sb, Bi, Ni, Fe, Si y Al).

2) Se considera como muy probable que el método de fabricación haya sido el de cera perdida con un pulido posterior, enérgico en el reverso de la placa y más cuidadoso en el anverso.

3) Algunos detalles de bajo relieve han sido terminados por medio de un suave burilado.

4) El análisis de las subestructuras de solidificación de la pieza y las estructuras de recrystalización asociadas al proceso de pulido final parecen indicar como probable que las áreas recrystalizadas hayan aparecido en el transcurso del tiempo pasado entre la fabricación de la placa y su hallazgo, como consecuencia de procesos de activación a la temperatura que rodeó a la placa.

Agradecimientos

Al Dr. Rex Gonzalez por haber provisto la placa de LAFONE QUEVEDO para su estudio, así como por las estimulantes discusiones con él mantenidas. A la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina por haber provisto todas las facilidades experimentales para la ejecución del presente trabajo.