

ESTUDIO DE CLAVOS DE ALEACIÓN DE COBRE ASOCIADOS A LOS RESTOS DE UNA EMBARCACIÓN HALLADA EN ISLA DE LOS ESTADOS

H. De Rosa ⁽¹⁾, N. C. Ciarlo ^(1,2) y H. G. Svoboda ^(1,3,4)

(1) Grupo de Arqueometalurgia (GAM), Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA.

(2) Programa de Arqueología Subacuática (PROAS), Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (INAPL), ARGENTINA.

(3) Laboratorio de Materiales y Estructuras, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA.

(4) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA.

E-mail (autor de contacto): hderosa@fi.uba.ar

RESUMEN

El Comandante Luis Piedrabuena, destacado navegante de los mares del sur argentino, naufragó el 10 de marzo de 1873 con su goleta Espora en caleta Lacroix (Bahía Franklin, Isla de los Estados). En apenas 57 días, don Luis construyó una embarcación (cúter) de 12 metros de eslora y 18 toneladas, con la que se hizo nuevamente a la mar. La llamó Luisito, en homenaje a su hijo. Su construcción, inmersa en esos parajes deshabitados, con muy pocos hombres y ninguna infraestructura, fue una verdadera hazaña técnica. Con esta pequeña nave no sólo logró volver al continente, sino que además siguió navegando durante varios años. Este marino unía a sus dotes de navegante una probada habilidad como carpintero, diseñador naval y metalurgista, de la cual muy poco se ha hablado. En el presente trabajo se estudiaron restos de clavos recuperados del maderamen hallado en la zona intermareal de Bahía Franklin. Sobre las muestras obtenidas se realizó la caracterización dimensional, química y microestructural, mediante microscopía óptica (LM), microscopía electrónica de barrido (SEM/EDS) y mediciones de microdureza (HV). Ambos clavos fueron realizados con un latón alfa (Cu-Zn) y bajo contenido del Sn. La microestructura de los mismos corresponde a una estructura de solidificación, propia de un proceso de fundición, con presencia de macro y microchupes. A su vez, se detectó descincificación y bandas de deslizamiento en la zona de la punta. Las características de las piezas son consistentes con la tecnología de los clavos utilizados en el forro de madera del casco de las embarcaciones durante el siglo XIX.

Tópico: 2

Palabras clave: tecnología siglo XIX, clavos, cobre-zinc-estaño, naufragio, Comandante Luis Piedrabuena

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas australes del continente americano fueron testigo desde el siglo XVI de constantes travesías por parte de embarcaciones de diversas nacionalidades. Estos viajes se vieron repentinamente concluidos en muchas ocasiones debido al naufragio de las naves. Actualmente, los restos de muchas de ellas reposan sobre la costa atlántica argentina, tanto bajo el agua como sobre el intermareal. Los vestigios que perduran con mayor frecuencia consisten en diversas partes estructurales de las embarcaciones, las cuales se hallan en general asociadas con diversos elementos metálicos de fijación, como tachas, clavos y pernos.

El Comandante Luis Piedrabuena llegó por primera vez a la Isla de los Estados en 1847 y años más tarde, en 1868, el Congreso Nacional le concedió la propiedad de la isla. En 1873 sufrió el naufragio de su embarcación, la goleta *Espora* (ex Nancy), en la aún desconocida Bahía de las Nutrias (probablemente actual caleta Lacroix, Bahía Franklin). Luego de poco más de dos meses, con los restos de la embarcación – y sólo

dos sierras y dos hachas de mango corto – la tripulación construyó el cúter *Luisito* (de doce metros de eslora, cuatro de manga y dos de puntal), con el cual logró regresar a Punta Arenas.

El sistema de fijación constituyó históricamente un aspecto de suma relevancia en la construcción naval, dado que de sus componentes – aquí nos referimos a las piezas metálicas – dependía en parte el correcto funcionamiento de las embarcaciones y, en última instancia, el éxito de las empresas vinculadas a la navegación. Cada medio de fijación obedecía a múltiples variables: funcionalidad de las piezas; tradición naval; conocimientos metalúrgicos; técnicas, materiales y escala de producción; y naturaleza de las empresas (comercial, científica, militar, entre otras). Muchas de estas condiciones pueden ser abordadas a partir de los estudios de caracterización.

Los clavos de aleación de cobre se implementaron para la construcción del casco de las embarcaciones a partir de la segunda mitad del siglo XVIII [1]. Por otro lado, las aleaciones y métodos de fabricación utilizados fueron cambiando a lo largo de los años, por lo que a partir de la identificación de ciertas características microestructurales de los mismos es posible realizar una aproximación a la adscripción temporal y espacial de dichos elementos.

El objetivo del presente trabajo fue analizar dos puntas de clavo recuperados del maderamen de una embarcación naufragada en caleta Lacroix (Bahía Franklin, Isla de los Estados). Estos restos fueron hallados en 1999 y atribuidos a la goleta *Espora*, embarcación emblemática del comandante Luis Piedrabuena (Carlos Vairo, com. pers. 2010). A partir de los estudios definimos el proceso de manufactura, el material utilizado y la calidad de las piezas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras mencionadas se analizaron dimensionalmente y se caracterizaron microestructuralmente mediante microscopía óptica (LM) y electrónica de barrido (SEM). El análisis químico local y global se realizó mediante la técnica de EDS. A su vez, se determinó la microdureza Vickers (HV, carga 1kg). En la Figura 1 se muestran las imágenes de los fragmentos de clavos en cuestión.



Figura 1. Fragmentos de clavos analizados: a) largo (L); y b) corto (C).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la morfología y dimensiones de las muestras analizadas se pudo determinar que ambas muestras presenta una sección cuadrada, levemente convergente hacia la punta. La muestra denominada L tiene unos 22 mm de longitud y una sección de 6 mm de lado, mientras que la muestra C presenta unos 13 mm de longitud y una sección de 8,7 mm de lado. En ambos casos, esta última medición fue realizada en la sección mayor de los fragmentos. Asimismo, ambas muestras presentan en el extremo opuesto a la punta una superficie de fractura. Debido a las dimensiones de la sección de las muestras analizadas, la muestra C

correspondería a un clavo de tamaño estimado en *ca.* 120 – 150 mm, mientras que la muestra L sería un clavo de menores dimensiones (*ca.* 80 – 100 mm). Ambos son del tipo *spike*, que se utilizaba corrientemente para la fijación de las tablas de forro del casco de las embarcaciones [2]. En la Figura 2 se muestran las macrográficas de las muestras en estudio.

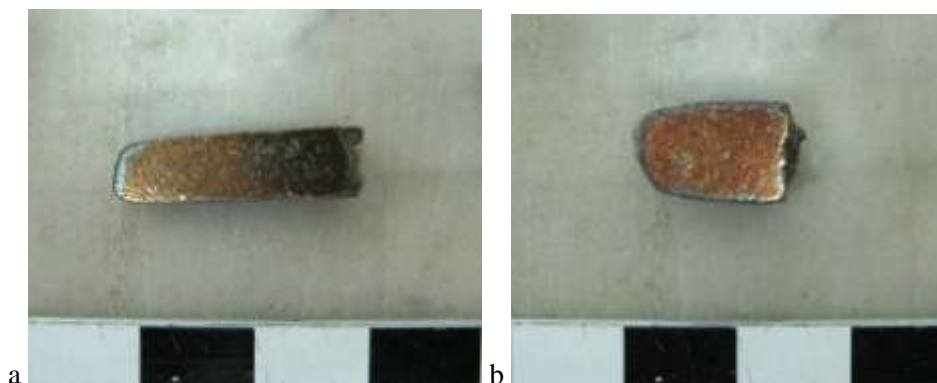


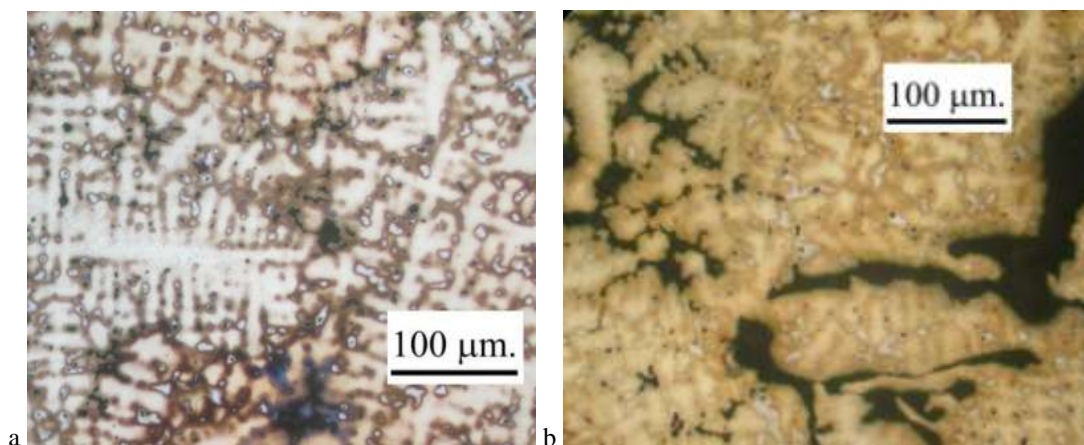
Figura 2. Macrográficas de los trozos de clavos analizados.

Se puede observar en ambas muestras defectos macroscópicos grandes en el volumen, asociados a pérdida de material por corrosión o porosidad debido al proceso de fabricación. Como veremos más adelante, estos últimos defectos ponen en evidencia la calidad de los elementos analizados. En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis químico de las muestras analizadas.

Tabla 1. Composición química de las muestras L y C.

Muestra	Cu	Zn	Sn
L	86,3	10,3	3,1
C	84,0	11,3	4,7

Ambas muestras corresponden a un mismo sistema de aleación del tipo Cu-Zn-Sn, un latón alfa con agregado de bajo contenido de Sn. Esta aleación fue típicamente utilizada en el siglo XIX para la fabricación de clavos navales, particularmente de aquellos que estaban en contacto directo con el agua salobre [1]. En la Figura 3 se aprecian las micrográficas de la muestra L.



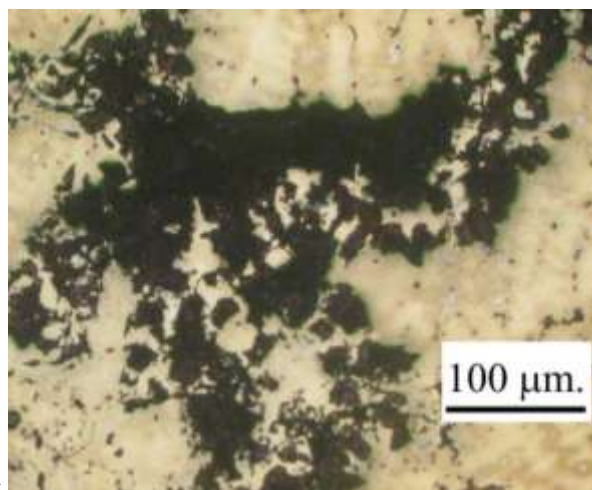


Figura 3. Microestructura de solidificación y defectos en la muestra L.

La estructura de solidificación es típica de un proceso de colada. Ello indica que los clavos fueron fundidos sin deformación plástica previa como parte de su proceso de fabricación. A su vez, se detectaron una gran cantidad de defectos del proceso de colada como microrrechupes de solidificación (Figura 3a) y pliegues (Figura 3b). Los primeros se deben a la contracción que tiene lugar durante el cambio de fase líquido-sólido, debido a la disminución de la temperatura de solidificación del líquido interdendrítico por alta concentración de solutos, lo cual produce pérdida de cohesión del material. Los pliegues, a su vez, se pueden interpretar como solapamientos de material por deformación plástica localizada en cavidades de la estructura. Por otro lado, se registraron zonas asociadas a defectos posibles de corrosión (Figura 3c).

Durante el proceso de solidificación de estos materiales, se produce un crecimiento dendrítico del sólido desde el líquido, caracterizado por la estructura observada. Dicho modo de solidificación tiene asociado, en general, un fuerte nivel de microsegregación que genera un enriquecimiento de solutos en la última zona en solidificar. Dicho enriquecimiento local puede llegar hasta la concentración de saturación de dicho soluto en la fase presente y generarse así la precipitación de una nueva fase en dichas zonas. La muestra L presenta microsegregación y precipitación de segunda fase en la zona interdendrítica, como puede verse en la Figura 4.

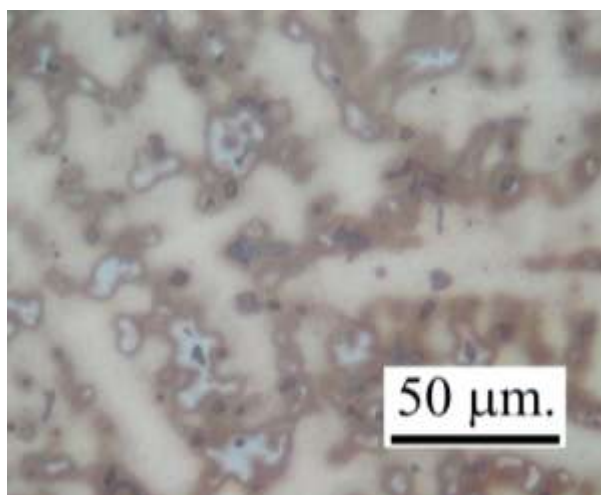


Figura 4. Microsegregación y segunda fase precipitada en zona interdendrítica, en la muestra L.

La microsegregación mencionada se observa en las zonas interdendríticas (zonas marrones) con la presencia de precipitados de una segunda fase (gris claro). Según lo reportado en otra oportunidad, ésta corresponde a una región más rica en elementos de bajo punto de fusión (Zn y Sn) [3]. La Figura 5 es una imagen SEM de la muestra en cuestión, donde se observan los microrrechupes mencionados. Dichos defectos presentan una morfología dendrítica, poniendo de manifiesto que fueron producidos durante la solidificación.

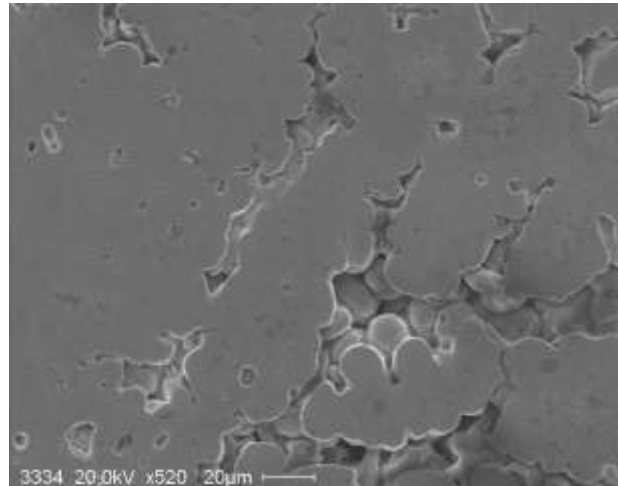


Figura 4. Imagen SEM de microrrechupes en la muestra L.

La dureza Vickers promedio de la muestra, medida en diversas zonas, fue 112 ± 13 HV. En la zona de la punta presentó los mayores valores (127 HV), mientras que hacia el interior la dureza fue menor (98 HV). Dichos valores son consistentes con la microestructura observada y el sistema de aleación.

Desde el punto de vista de su utilización como elemento de fijación, el elevado nivel de defectos (microrrechupes, pliegues y corrosión) pudo afectar su integridad estructural, debido a que la sección resistente efectiva de la muestra es menor que la aparente. Esta observación es consistente con lo informado por quien hallara los elementos, indicando que los mismos se fracturaron al ser traccionados para su extracción de los maderos (Carlos Vairo, com. pers. 2010).

Para la muestra corta se observaron características microestructurales similares a las detectadas previamente en la muestra L. En la Figura 6 se puede ver la microestructura de la muestra C.

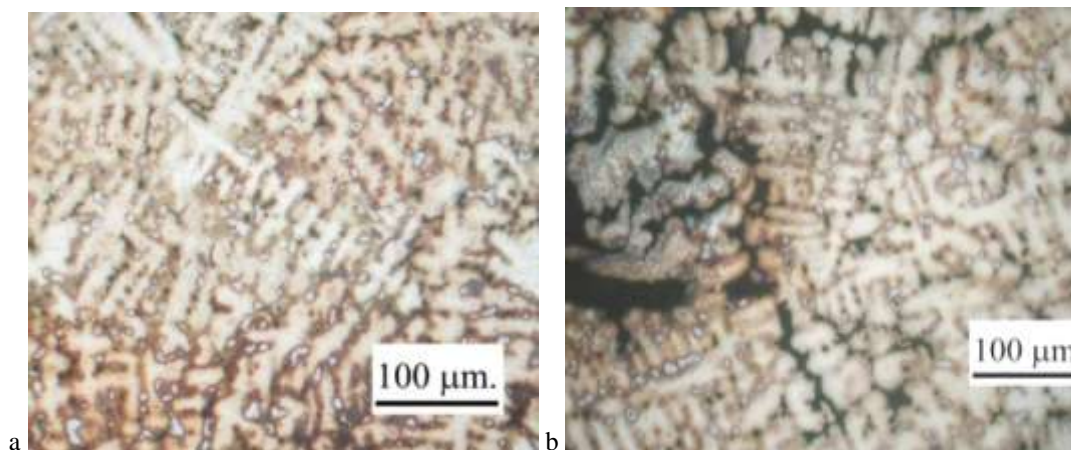


Figura 6. Estructura de solidificación y microrrechupes en la muestra C.

La estructura de solidificación es típica de un proceso de colada, por lo que esta muestra también corresponde a un clavo fundido. Asimismo, se ven defectos del proceso de fabricación, tales como microrrechupes asociados a las zonas interdendríticas (Figura 4b). Por otro lado, en la zona de la punta se pudo detectar la presencia de bandas de deslizamiento, como puede apreciarse en la Figura 7.

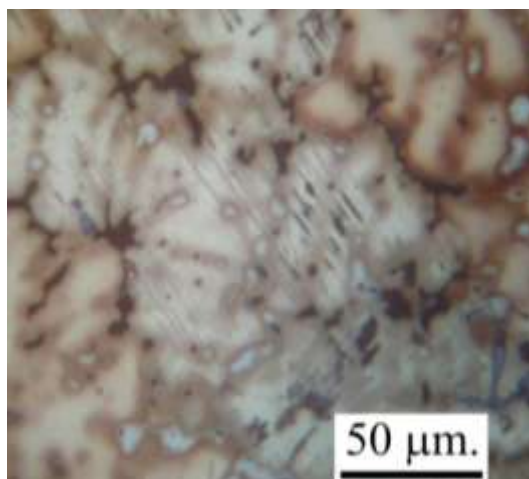


Figura 7. Bandas de deslizamiento en la punta de la muestra C.

Por otro lado, en esta muestra se observaron zonas con corrosión por desincificación. Dicho mecanismo de corrosión consiste en la disolución selectiva de uno de los elementos de la aleación. En particular, en el caso de los latones, el elemento que se disuelve es el zinc, observándose el cobre metálico remanente. Este mecanismo de corrosión selectiva se ha reportado en latones con más de 15% de Zn en solución salina o ligeramente ácida, siendo más severo en la fase rica en Zn de los latones alfa más beta [4]. En la Figura 8 se observa el fenómeno de desincificación de la muestra analizada.

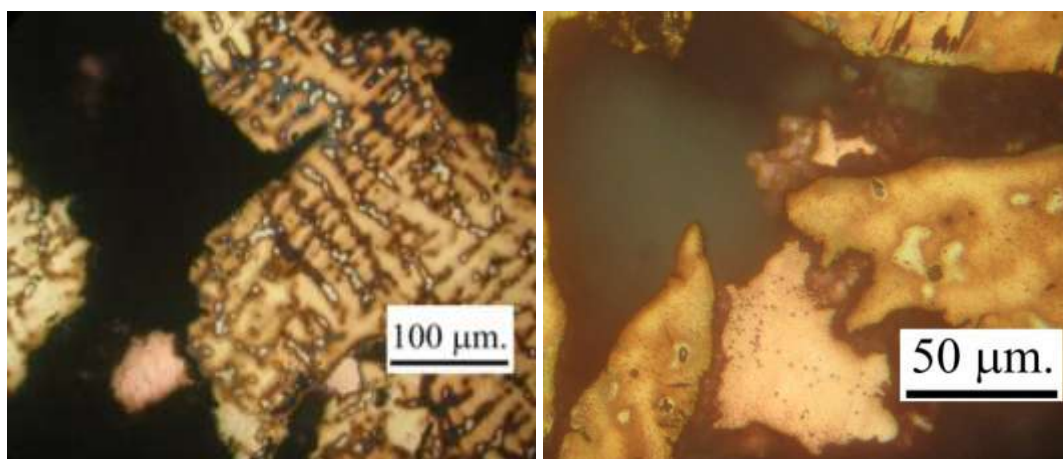


Figura 8. Desincificación en la muestra C.

Este proceso de corrosión selectiva no es habitual en este tipo de aleación. Asimismo, la incorporación de Sn al latón se realizaba a fin de mejorar su comportamiento a la corrosión. En particular esta muestra presenta un contenido de Sn superior a lo medido en la muestra L, siendo sin embargo esta muestra C en la que se detectó desincificación. Esto podría deberse al mencionado efecto de la microsegregación, dado que en las zonas enriquecidas en soluto el contenido de zinc se eleva, pudiendo alcanzar los valores requeridos para activar el proceso de corrosión selectiva observado. Asimismo el nivel de conectividad entre los defectos observados podría permitir el ingreso del medio requerido para la ocurrencia de la corrosión. En este sentido es interesante hacer notar que la calidad del proceso de fabricación (nivel de defectos) puede controlar la vida del elemento, en relación a su resistencia a la corrosión, aún en una aleación mejorada desde el punto de vista de su composición química (mayor contenido de Sn).

La microdureza Vickers promedio de mediciones realizadas en distintas zonas de la muestra fue 103 ± 3 HV. No se detectaron variaciones de dureza en función de la zona de la muestra.

Las aleaciones de cobre utilizadas en los clavos de fijación de las tablas del casco fueron variables a lo largo del siglo XIX [1, 3]. Esto pudo estar vinculado a la falta de un medio idóneo de control de las mismas, sumado a las diferentes modalidades prácticas de cada fabricante. No obstante, a grandes rasgos, se puede

apreciar que los ejemplares de la segunda mitad de la centuria poseen los mayores contenidos de zinc [3]. Los análisis realizados a un clavo del forro de madera del naufragio *Bahía Galenses II* (BG II, s. XIX, Puerto Madryn), indican que se trata de una pieza fundida de latón, con un porcentaje global aproximado de 70,5% de Cu, 27,5% de Zn y 2% de Sn [5].

Las aleaciones del tipo Cu-Zn con pequeños agregados de Sn, en particular, demostraron ser de utilidad en aplicaciones en contacto con agua salada por su mejor resistencia que las de Cu-Zn al fenómeno de corrosión selectiva. Como vimos, las muestras analizadas en el presente estudio poseen una composición de alrededor del 10% de Zn y entre 3% y 5% de Sn.

Por otro lado, los clavos presentan una microestructura con microsegregaciones y microrrechupes interdendríticos. Estos defectos de fabricación han sido reportados en otras oportunidades para el caso de piezas similares provenientes de naufragios del siglo XIX y pueden considerarse como producto de una tecnología de colada deficiente [6, 7].

Con relación a los valores de microdureza, se puede hacer una comparación estimativa con los datos de otros elementos similares. Las mediciones realizadas en los vástagos de estas piezas dieron valores entre 75 y 95 HV [3, 5], los cuales son inferiores a los relevados en las dos puntas analizadas. Asimismo, teniendo en consideración la presencia de bandas de deslizamiento, sugerimos que dichas zonas fueron sometidas a un proceso de deformación plástica durante el conformado, con el fin de aumentar la dureza en el frente de penetración de las piezas.

4. CONCLUSIONES

Los análisis de caracterización microestructural y química de los fragmentos de clavos recuperados del naufragio atribuido a la goleta *Espora* (1873) permitieron determinar una serie de aspectos relacionados con el proceso de manufactura, las aleaciones utilizadas, la calidad de las piezas, los procesos de deterioro y el marco temporal aproximado.

La morfología y el tamaño de los fragmentos sugieren que los clavos formaron parte del sistema de fijación de las tablas de madera que revestían el forro del casco naufragado. La microestructura de ambos corresponde a un material fundido, con un alto contenido de defectos producto de un control imperfecto durante el proceso de fabricación. Por otro lado, la evidencia de deformación plástica localizada indica que durante la manufactura se realizó un endurecimiento de las puntas para mejorar sus propiedades mecánicas.

La aleación implementada en los dos casos fue un latón Cu-Zn con bajo contenido de Sn, del tipo que se usaba para mejorar la resistencia a la corrosión selectiva. A partir del tipo de aleación, podemos situar temporalmente a los ejemplares en el siglo XIX, lo cual refuerza la adscripción de los restos a la embarcación *Espora*.

5. REFERENCIAS

- [1] Mc Carthy, M., 2005. *Ships' Fastenings. From Sewn Boat to Steamship*. Texas A&M University Press. USA.
- [2] Mc Carthy, M., 1996. Ships fastenings: a preliminary study revisited. *The International Journal of Nautical Archaeology* 25(3):177-206.
- [3] Samuels, L.E., 1992. Australia's Contribution to Archaeometallurgy. *Materials Characterization* 29:69-109.
- [4] ASM Metals Handbook, 1987. Formerly Ninth Edition, Vol. 13, p. 614. ASM International.

[5] Murray, C., M. Grosso, D. Elkin, F. Coronato, H. De Rosa, M. A. Castro y N. C. Ciarlo
2009. Un sitio costero vulnerable: el naufragio de “Bahía Galenses” (Puerto Madryn, Chubut, Argentina).
En: M. Salemme, F. Santiago, M. Álvarez, E. Piana, M. Vázquez y E. Mansur (eds.), *Arqueología de la Patagonia. Una mirada desde el último confín*, Tomo 2: 1093-1108. Editorial Utopías, Ushuaia.

[6] De Rosa, H., N. C. Ciarlo, H. Svoboda y F. Di Claudio
2009. Caracterización de elementos metálicos de fijación hallados en sitios de naufragio (siglos XVII-XIX) de la costa atlántica argentina. Trabajo presentado en el *III Congreso Argentino de Arqueometría y II Jornadas Nacionales para el Estudio de Bienes Culturales*. Córdoba.

[7] MacLeod, I. D. y M. Pitrum, 1988. Metallography of Copper and Its Alloys Recovered from 19th Century Shipwrecks. *Archaeometry: Australasian Studies*: 121-130.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Lic. Pedro Vairo, Director del Museo Marítimo de Ushuaia, por el aporte de las piezas estudiadas. También agradecemos al Ing. Jorge Pina, del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, por los análisis SEM-EDS de las muestras.