

Bienes Arqueológicos //

La conservación del pecio *Barceloneta I* en el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (MAC-CASC).

Los trabajos de conservación de las maderas arqueológicas del pecio *Barceloneta I* empiezan en 2008 con el hallazgo en la excavación y continúan con la llegada de las piezas de madera al Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (CASC). El tratamiento comenzó con la eliminación de sales y la impregnación hasta la saturación con polietilenglicol, donde permanecen hasta el mes de marzo de 2015, momento en que las maderas son trasladadas al Museu Marítim de Barcelona (MMB) para llevar a cabo el procedimiento de secado controlado y/o estabilización, que acaba el mes de noviembre de 2015.

Este compendio comporta un camino de siete años (2008-2015) transcurridos desde el momento en que se descubre el pecio hasta la estabilización final a temperatura y humedad ambiente. La conservación de un pecio de estas características comporta un trabajo ingente, en el cual ha hecho falta dotarse de un presupuesto extraordinario y la implicación de técnicos especialistas y varias instituciones.

Cati Aguer Subirós. Conservadora-restauradora. Colaboradora del laboratorio de conservación-restauración del MAC-CASC (*Museu d'Arqueologia de Catalunya-Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya*).
 catiague@gmail.com

Palabras Clave: pecio, madera, empapada, polietilenglicol (PEG 4000).

Fecha de recepción: 24-XI-2022 > **Fecha de aceptación:** 30-XI-2022

INTRODUCCIÓN

La conservación del pecio *Barceloneta I* (Barcelona) se llevó a cabo en el laboratorio de conservación y restauración que el Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya tiene en su sede de Girona. Los trabajos se inician en 2008, cuando llega el conjunto de piezas de madera de la estructura del casco desde la excavación, realizándose las primeras limpiezas y el almacenamiento provisional antes de empezar el tratamiento propiamente dicho de conservación, que finalizó en 2015. Ese año se trasladan las piezas de madera al Museu Marítim de Barcelona donde acabó el proceso de estabilización a temperatura y humedad ambiente.

La conservación de la madera empapada de agua obliga a disponer de una infraestructura especializada para conseguir unos buenos resultados finales dado que este tipo de material es muy frágil si no se toman las medidas adecuadas, desde el primer momento en la excavación. En todo momento se debe mantener la madera húmeda, puesto que un secado incontrolado implicaría la pérdida absoluta e irreversible de la madera.

El objetivo principal es evitar la eliminación de manera brusca del agua, contenida dentro de los diferentes elementos. Por lo tanto, esta eliminación se debe hacer de manera controlada hasta lograr el equilibrio higroscópico con la temperatura y humedad relativa de la atmósfera que los rodea. Por este motivo hay que iniciar un proceso de consolidación de las maderas a fin de darles la resistencia mecánica adecuada.

EL PROCESO DE CONSERVACIÓN

El pecio *Barceloneta I* apareció en 2008 dentro del área ocupada por el yacimiento arqueológico conocido con el nombre de *Baluard del Migdia*, entre los ejes viarios de la plaza Pau Vila, calle del Dr. Aiguader y calle de la Marquesa, en el distrito de *Ciutat Vella* de Barcelona.¹ Las piezas de madera



del barco se encontraban dentro del nivel freático, por lo tanto, estaban empapadas de agua, elemento clave para conservar la madera.²

¹ Dirección de la intervención arqueológica: Mikel Soberón Rodríguez. Empresa: Codex, Arqueologia i Patrimoni, SCCL. Promotor: Servei d'Arqueologia de Barcelona, Institut de Cultura de Barcelona, Ajuntament de Barcelona.

² AGUER, C.; JOVER, A. "Tratament de conservació dels objectes de fusta dels pous romans de Guissona". En: GUITART I DURAN, J.; PERA I ISERN, J. (eds). *Iesso I. Miscel·lània Arqueològica*. Guissona: Patronat d'Arqueologia de Guissona, 2004, p. 279-284.

³ Este producto, utilizado por Claude Michel, responsable del *Laboratoire de conservation-restauration del Musée Cantonal d'Archéologie et d'Histoire-Palais de Rumine, Lausanne*, se compra en la empresa ATN Diffusion S.A, Châtel-sur-Montsalvans (Suiza).

⁴ Equipo del proceso de limpieza: Cati Aguer (MAC-CASC), Lluïsa Matas y Esther del Horno (Abac Conservació-Restauroació, SL).

PRIMERA FASE: LIMPIEZA Y ANÁLISIS

El conjunto de piezas de la estructura del casco del barco llegó al laboratorio de Girona el día 21 de mayo de 2008, cada pieza individualizada envuelta con plástico y el conjunto colocado sobre un soporte de tablero marino. Este sistema de embalaje está pensado para que conserve la humedad en todo momento y así evitar que las maderas se sequen durante el transporte, lo cual provocaría su destrucción de forma irreversible.

En el espacio al aire libre que precede al laboratorio, se desembalaron las piezas para proceder a una primera limpieza con agua. Se observaron cada una, individualmente, para identificar su estado de conservación; se midieron una por una, para conocer el volumen aproximado de maderas que teníamos, y se cogieron muestras de madera para determinar la cantidad de agua contenida en las piezas. **1** [pág.22] Las piezas vienen identificadas con el número arqueológico correspondiente, con cinta de *Dymo*[®] de acero inoxidable perforada en cada uno de los extremos para poderla clavar a la madera con grapas de hilo de acero inoxidable, del tipo cable de cuerda de piano. **2** [pág.22]

Cada una de las piezas de madera tenía su correspondiente dibujo a escala 1:1, realizado sobre un plástico transparente, donde se había trazado el contorno de una de las caras con un rotulador permanente y se había marcado la situación de los clavos, agujeros y grietas más grandes.

SEGUNDA FASE: INMERSIÓN EN AGUA

Acabada la primera fase, se introdujeron las maderas dentro de uno de los depósitos del laboratorio, sumergida en agua corriente, donde permanecieron en espera del tratamiento de conservación. **3** [pág.23]

Durante esta fase se hicieron cambios de agua, pero, a pesar de esto, se observó una contaminación del baño con la presencia de organismos vivos, por lo cual se añadió un fungicida (ATN JB 48, un agente biocida organosulfurado sin fenol y sin metales pesados, en una cantidad de unos 150 gramos por cada 1.000 litros de agua).³ La operación se tuvo que repetir varias veces, hasta el momento de empezar la limpieza de las maderas.

TERCERA FASE: LIMPIEZA

La limpieza mecánica y química del conjunto se inició el 7 de enero de 2009, comenzando por sacar las piezas del depósito de almacenamiento, una por una, con la ayuda de eslingas de elevación de poliéster sujetas a una grúa y colocándolas sobre la mesa de trabajo del laboratorio, o bien, según el caso, en el patio exterior encima de tablas de madera sobre caballetes. **4** [pág.23]

La limpieza se realizó con la ayuda de mangueras de agua y cepillos de nailon de diferentes formatos y durezas, espátulas, bisturí fijo y de hoja recambiable, punzones de hierro y madera y aparato de ultrasonidos, entre otras herramientas.⁴

Los principales objetivos de la limpieza eran:

- Eliminar la brea que recubre las maderas, puesto que esta crea una capa impermeable que hace impenetrable el consolidante que se usa posteriormente para conservar la madera. Otra ventaja es que, gracias a su extracción, quedan visibles dónde se encuentran los agujeros de clavos.

- Extraer los restos de arena, piedrecillas, lodo y diferentes restos vegetales procedentes del suelo de la excavación.

- Rascar las zonas con restos de hierro de los agujeros de clavos, para extraerlo al máximo y minimizar los problemas de acidificación de la madera que pueden surgir en el futuro. **5** [pág.23]

Durante el proceso de limpieza se aprovechó para unir las piezas fragmentadas y las agrietadas con grapas inoxidable (de hilo de acero inoxidable de cuerda de piano), usando tenazas para fabricarlas a medida y dar la forma adecuada, lo cual da estabilidad a las piezas y hace más fácil su manipulación. En dos de las tablas (BM-T7A y BM-T8) había fragmentos tan pequeños que se optó por protegerlos con una malla de plástico fijada con grapas de acero inoxidable. **6** [pág.24]

Una vez la madera estuvo toda limpia, se comprobó el número de registro arqueológico y se revisaron los croquis hechos en la excavación. En los croquis se añadieron algunos conceptos más de los que ya estaban marcados. Se crearon unas leyendas con tramas para indicarlo: agujeros de clavos, uniones de maderas, marcas dejadas por el carpintero de ribera, grietas, fisuras, roturas, espigas y agujeros de espigas.

Simultáneamente, se realizó un muestreo de varias cuadernas y tablas del forro, con la ayuda de un bisturí. En total fueron 11 muestras para las cuadernas y 9 muestras para las tablas del forro, para obtener una visión general de cuál era el tanto por ciento de contenido en agua de las maderas. El porcentaje suele ser aproximado, pues cada elemento tiene su particularidad: hay zonas más duras, otras más blandas, más gruesas, menos gruesas o maderas de esencia diferente.

La muestra húmeda, colocada en una cápsula Petri, se pesó en la báscula de precisión, introduciéndose posteriormente en el desecador durante cuatro horas a 80 °C. Pasado este tiempo, se volvió a pesar la muestra, ahora seca. Teniendo estas dos premisas, se aplicó la siguiente fórmula matemática:

$$H = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso final}} \times 100$$

El resultado de contenido en agua de las muestras de las cuadernas iba desde 1.152,02% a 414,75% mientras, en el caso de las tablas del forro, variaba entre 726% a 166,09%.

CUARTA FASE: INMERSIÓN DENTRO DEL DEPÓSITO

El depósito tiene un volumen de 9 m³, está construido con acero inoxidable aislado con alumbre de roca y equipado con una bomba para permitir la circulación del producto dentro del baño; también dispone de unas resistencias eléctricas en las paredes laterales para calentar el baño y una sonda en el interior para controlar la temperatura.

Dentro del depósito se colocaron unas barras de madera de pino de 150 cm de largo, 4 cm de anchura y 4 cm de grosor en sentido transversal, en diferentes pisos. En cada uno de los extremos de las barras se hizo una incisión vertical recta, de unos 3 cm, y una perforación horizontal cilíndrica que las atravesó, lo cual permitió sujetarlas con una espiga de acero inoxidable (2 mm) en forma de "L" a la barra vertical

de sección plana de acero inoxidable con perforaciones que el depósito tiene soldada en los laterales. **7** - **9** [pág.25]

Cada una de las barras de acero inoxidable vertical se numeró del 1 al 5, con un rotulador permanente y las barras de madera transversales se denominaron siguiendo el número de la barra vertical, además del número de piso que corresponde. Para el primer piso se obtuvo la siguiente secuencia: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6; en el segundo piso la secuencia era 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y así sucesivamente, hasta cuatro pisos.

Entre los pisos se instalaron planchas de madera de pino, encajadas entre ellas, de 400 cm de longitud y 19 cm de ancho, siguiendo la longitud del depósito, que actuaron de plataforma para depositar todas las piezas.⁵ Estas se fijaron con un tornillo de acero inoxidable a las maderas transversales para evitar que floten. Se tuvo en cuenta dejar un centímetro sin madera a ambos lados para respetar su dilatación en el momento que se cubre de agua. La plataforma se perforó aleatoriamente haciendo agujeros de 8 mm de diámetro con un taladro para facilitar la circulación del consolidante, que se añadió posteriormente al baño.⁶ En el transcurso de disponer las maderas por pisos, se añadió agua corriente para que estas se mantuvieran empapadas de agua en todo momento.

QUINTA FASE: TRATAMIENTO DE DESALADO

Las maderas se sumergieron en agua corriente para llevar a cabo el tratamiento de desalado, es decir, la eliminación de las sales contenidas dentro de los objetos. Durante esta fase, se realizaron diferentes lecturas de conductividad eléctrica, con un conductímetro, para determinar la salinidad de la solución y se efectuaron cambios periódicos de agua, hasta que la conductividad se mantuvo estable.

El conjunto de piezas de madera del pecio permaneció dentro del baño de agua corriente durante dos años y nueve meses, llegando a una concentración de sales dentro del baño de 500 microsiemens (µS).

SEXTA FASE: PROCESO DE IMPREGNACIÓN EN POLIETILENGLICOL (PEG 4000) POR INMERSIÓN

El método consiste en la sustitución del agua que satura el material orgánico por una cera hidrosoluble, denominada polietilenglicol (PEG), que solidifica en el interior de las estructuras celulares a temperatura ambiente y a elevada concentración. De manera gradual y progresiva se fuerza un proceso de intercambio dentro del baño entre el agua retenida por las maderas y la solución del baño, que consiste en una solución de PEG 4000 en agua.⁷ La cera penetra en la madera por ósmosis y se aumenta la concentración de PEG en el baño a medida que se consigue un equilibrio entre el contenido de PEG del baño y el de las maderas.⁸

El proceso de conservación por impregnación con PEG 4000 de las maderas empezó el 24 de noviembre de 2011, introduciéndose 6.000 litros de agua destilada y 600 Kg de PEG 4000 en el depósito, que representa un 10% del total del volumen del baño. Se mantuvo esta concentración, aproximadamente durante dos meses. A continuación, se añadió PEG 4000 a razón de un 0,5-1% semanal, hasta llegar a una concentración final de 76,7%. Este proceso de impregnación de PEG 4000 duró un periodo de tres años, desde noviembre de 2011 hasta noviembre de 2014. **10** [pág.26]

Para controlar que el aumento de PEG 4000 se hace de ma-

nera gradual, semanalmente se calcula la concentración de este dentro del baño. Se coge una muestra del líquido dentro de una cápsula Petri y se pesa; seguidamente, se introduce dentro del desecador a una temperatura de 85 °C durante 4 horas, una vez seca se vuelve a pesar y se aplica la siguiente fórmula matemática:

$$\% \text{ PEG} = 100 - \left[\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final} \times 100}{\text{peso inicial}} \right]$$

Durante todo el tratamiento es indispensable que:

- Las resistencias de las paredes del depósito se mantengan a una temperatura de 55 °C para que el PEG no solidifique; hay que tener en cuenta que, a partir de una concentración mayor al 60 % de PEG en el baño, solidificaría. De este modo, además, se consigue una mayor penetración de la cera dentro de la estructura de la madera y se evita la proliferación de microorganismos.
- La bomba, para la recirculación del baño, se debe programar dos veces al día durante una hora, para conseguir una buena distribución del producto en todo el depósito. En caso de avería del termostato, la bomba quedaría automáticamente parada, gracias a que el equipo dispone de un sistema de seguridad, programado para pararse a una temperatura de 30 °C.
- El nivel del agua se debe dejar a unos 26 cm del techo del depósito, reservándose este espacio para la inserción semanal del producto, ya que la velocidad de penetración del PEG no es siempre la misma y se debe mantener un equilibrio entre el incremento de la concentración dentro del baño y la capacidad de absorción de las maderas de naturaleza más dura y de mayor volumen, para asegurar que la impregnación se realice de manera homogénea en todas ellas. Cada semana se debe realizar un control de la evaporación de la solución.

Como los diferentes elementos que conforman el conjunto de piezas de madera del pecio se pueden comportar de manera diferente a consecuencia de su naturaleza, su grosor, su estado de conservación y su diversidad morfológica, se eligen cuatro piezas de madera que se denominan “maderas testigo”.⁹ Estas son la cuaderna BM-Q6, pieza bastante gruesa y dura, la tabla BM-TSN-N, pieza pequeña y muy blanda, y las tablas BM-T3 y BM-T1, piezas muy delgadas y duras. **11** [pág.27]

La selección y preservación de estas maderas, aparte del resto, es muy importante a lo largo de todo el proceso de consolidación, ya que se utilizan para hacer los controles semanales y asegurarse que la penetración del PEG dentro de las maderas es correcto. Para poderlas manipular con facilidad, se colocan sobre una plataforma móvil, que tiene cuatro ganchos en cada uno de los extremos, unidos a unas cadenas y un garfio.

Se aplicó una metodología de trabajo a lo largo de todo el procedimiento que consiste en:

- Tomar medidas de las piezas en todos los sentidos de la dirección de la madera (longitudinal, transversal y tangencial) para comprobar si se producen movimien-

⁵ No se utilizó tablero marino a causa de las colas, que pueden reaccionar con el polietilenglicol (PEG), empleado en la sexta fase.

⁶ Equipo del proceso de montaje de la estructura dentro del depósito: Cati Aguer, restauradora colaboradora del MAC-CASC; Xavier Nieto, director del MAC-CASC, Gustau Vivar, arqueólogo del MAC-CASC y Jordi Ibáñez, mecánico del MAC-CASC.

⁷ PEG 4000 por su peso molecular (uma): 4.000 aproximadamente.

⁸ JOVER ARMENGOL, A. “Els materials orgànics: de l’excavació al laboratori. Conservació PEG a saturació”. En: CAU ONTIVEROS, M. A.; NIETO PRIETO, F. X. (coords.). *Arqueologia Nàutica Mediterrània, Barcelona: Museu d’Arqueologia de Catalunya-Centre d’Arqueologia Subaquàtica de Catalunya (Monografies del CASC, 8), 2009, p. 629.*

⁹ MICHEL, C.; KLAUSENER, M. *Conservation et restauration de deux embarcations gallo-romaines mises au jour à Yverdon-les-Bains (Canton de Vaud, Suisse): Traitements au polyéthylène glycol (PEG) des bois gorgés d’eau*. Lausanne: Musée Cantonal d’Archéologie et d’Histoire de Lausanne, 1999, p. 50.

¹⁰ Equipo de trabajo de eliminación del excedente de PEG: Cati Aguer, restauradora colaboradora del MAC-CASC, Pol Camps, Irene García y Albert Vila, técnicos restauradores *freelance*; Rut Geli, técnica arqueóloga colaboradora del MAC-CASC.

tos, contracciones y/o disminuciones; por este motivo se colocaron tornillos de acero inoxidable en dos de las maderas. ¹² [pág.27]

- Pesarlas semanalmente, para comprobar que el peso se mantenga estable, no se incremente ni se reduzca considerablemente, ya que se establece un intercambio entre la eliminación del agua contenida de las maderas y el consolidante añadido. ¹³ [pág.28]

- Sobreponer encima de un calco, ¹⁴ [pág.28] que previamente hemos dibujado en papel poliéster a escala 1:1 con lápiz y trazado con rotulador permanente, cada una de las maderas para así poder detectar con facilidad que estas no han encogido, no se han creado fisuras, retracciones, distorsiones o se han deformado.

- La impregnación es progresiva y lenta, por lo tanto, la presencia del PEG en el interior de las maderas se hace paulatinamente sin que sufran sus estructuras celulares. ¹⁵ [pág.28]

Se llegó al final del tratamiento de consolidación de las maderas del barco *Barceloneta I* cuando se logró el 76 % de impregnación de PEG 4000 dentro del baño, siendo el periodo total dedicado a su tratamiento de conservación de tres años.

SÉPTIMA FASE: LIMPIEZA DEL PEG SOBRENTE

Acabado el largo proceso de impregnación hasta la saturación, se extrajeron las piezas del depósito, una por una, y se colocaron sobre la mesa de trabajo con la ayuda de eslingas de elevación y de una grúa; seguidamente, con agua caliente y esponjas naturales, se fue extrayendo el excedente de PEG que quedaba sobre estas. ¹⁶ [pág.29]

Gracias al calor que tienen las maderas en el momento de salir del depósito de tratamiento, y puesto que el PEG tiene la propiedad de actuar como “lubricante”, se dio forma de manera progresiva a alguna de ellas, mediante la sujeción con sargentos.

OCTAVA FASE: ESTABILIZACIÓN

Acabada la fase de limpieza del PEG sobrante, se procedió a pesar las piezas. Se debe comprobar qué diferencia de peso hay entre las maderas empapadas de agua y las maderas tratadas con PEG: el peso no tendría que haber variado mucho, a pesar de que, por norma, la madera impregnada con PEG acaba pesando más. Al mismo tiempo se fueron colocando dentro de un recinto cerrado, para empezar el proceso de estabilización hasta llegar a temperatura y humedad ambiente.

Durante este proceso se eliminó de forma gradual el 25% de agua que todavía quedaba dentro de las maderas, evitando tensiones mecánicas entre las zonas periféricas y el centro. Esto se ha conseguido realizando un secado controlado durante el periodo de un año, el tiempo necesario para que las maderas se vayan aclimatando a temperatura y humedad ambiente.

En el laboratorio del CASC se construyó un recinto provisional, una estructura de madera, cerrado con plástico de color negro, colocándose en el suelo un soporte de palés de plástico y, encima, unas planchas de polietileno de 1 cm de grosor; a medida que se introdujeron las maderas en el re-

cinto, se dispusieron sobre pisos de madera con una base de polietileno de 1 cm.

En el momento de empezar la estabilización, dentro del recinto cerrado, se inició el proceso con una humedad de un 90-80% aproximadamente y, de manera progresiva, se fue reduciendo hasta llegar a un 60-55%. ¹⁷ [pág.29]

Dentro de la cámara se introdujeron unos humidificadores –de tipo ultrasonido– colocados dentro de unas cajas de plástico con agua, que hicieron que se mantuviese la humedad dentro del recinto. Los humidificadores estaban conectados a un temporizador digital para controlar las horas de funcionamiento y, así, poder regular la tasa de humedad.

Ya limpias, y cuando llevan tres meses y medio dentro de la cámara provisional de estabilización, las maderas del pecio se trasladaron al *Museu Marítim de Barcelona* para finalizar el proceso de secado controlado.

DÉCIMA FASE: TRASLADO DEL PECIO DEL CASC AL MUSEU MARÍTIM DE BARCELONA

El día 10 de marzo de 2015 llegó a la sede del CASC en Girona un camión grúa para trasladar todas las maderas al *Museu Marítim de Barcelona* (MMB). Aquí, se creó un soporte a medida para poder meter todas las maderas en una sola estructura de almacenamiento. El carpintero de ribera Gilles Llecha, del *Museu Marítim de Barcelona*, construyó el soporte siguiendo las medidas proporcionadas desde el CASC. Este se construyó de madera de pino, disponiendo de cinco pisos y medio, con unas ruedas de nailon en la base, para poderlo mover.

Todos los elementos de madera se embalaron, uno por uno, con plástico de burbujas y con un soporte de espuma de polietileno como base. Además, se taparon con un plástico negro para una mejor protección. ¹⁸ [pág.30]

UNDÉCIMA FASE: ESTABILIZACIÓN FINAL EN EL MUSEU MARÍTIM DE BARCELONA

Una vez llegadas las maderas al *Museu Marítim de Barcelona*, se construyó una cámara de estabilización para el secado controlado a humedad y temperatura ambiente, siguiendo estos pasos:

- 1- Se coloca un plástico negro en el suelo, para proteger la cámara y su contenido.

- 2- Se sobrepone el soporte de almacenamiento, con las maderas del pecio.

- 3- Se construye la carcasa de la cámara, hecha con barras de madera de pino, puestas en horizontal, aprovechando el mismo soporte que alberga las maderas. A estas se añaden otras barras en sentido vertical. Las barras de madera se unen con tornillos de acero inoxidable, para evitar la oxidación, teniendo en cuenta la gran aportación de humedad que habrá en la cámara. A las barras verticales se les añade un taco de madera grueso que se fija en el suelo con cinta americana, para conseguir más estabilidad en el conjunto de la estructura.

- 4- Seguidamente, se instala otro plástico negro, por encima de la carcasa y se engancha a las barras de madera con grapas de hierro, por la parte exterior. En algún caso se tienen que clavar estas grapas por el interior,

previa protección con cinta americana, para que no les afecte la humedad del interior de la sala.

5- Se dejan dos puertas de acceso al interior de la cámara: una en el lado izquierdo, para poder acceder por la parte de atrás, y una en la parte frontal, para acceder a la parte de delante. Las aperturas se sellan con una cinta de *Velcro*®, puesto que este sistema permite poder abrir y cerrar el acceso al recinto tantas veces como sea necesario. ¹⁹ [pág.31]

Una vez construida la cámara de estabilización, se situaron seis humidificadores de ultrasonidos, un poco elevados del suelo y dentro de recipientes llenos de agua osmotizada. A la vez, estos recipientes se colocan dentro de otros recipientes (cajas grises de plástico), que hacen la función de recogida del agua, evitando su caída al suelo. Los humidificadores estaban situados en diferentes lugares dentro de la cámara, para que la humedad quedase repartida de forma homogénea por todas partes. Estos aparatos se conectaron a la corriente eléctrica a través de un temporizador, que rige las horas de funcionamiento.

También se colocaron repartidos dentro del recinto tres *data loggers* (EL-USB-2-LCD de Lascar Electronics),¹¹ los cuales darán las pautas de las condiciones de humedad y temperatura. Después de un tiempo, se instalaron dos *data loggers* fuera de la cámara para controlar la humedad y la temperatura ambiente (*Testo Saveris H3D*).¹²

CONTROL DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA

El control de las condiciones de humedad y temperatura se hizo una vez por semana y consistía en:

- Evaluar los datos de los *data loggers* suministrados por las técnicas del *Museu Marítim* (MMB), Teresa Sala y Cristina Latorre, y Kusi Colonna-Preti, técnica del *Servei d'Arqueologia de Barcelona* (SAB).

- Añadir agua dentro de los recipientes de plástico, en caso de que fuese necesario.
- Hacer un seguimiento de la pérdida de masa por pesado y medida de los testigos.
- Medir la tasa de humedad en el interior de la madera con un *data logger* Testo 606-1®.
- Tomar fotografías de los testigos.
- Programar el tiempo de los humidificadores.

Durante los controles semanales se fue bajando la humedad dentro del recinto. Se comenzó por un % muy elevado –de entre un 90 y 80%– y se fue bajando progresivamente, hasta el mes de noviembre de 2015, que se llegó al 59,87% de humedad. Este proceso se hizo de manera gradual, programando el funcionamiento de los humidificadores durante más o menos horas. A medida que se necesitaba bajar la humedad, los humidificadores funcionaban menos horas.¹³

²⁰ [pág.32]

En **negro** son los datos extraídos de los tres *data loggers* del *Servei d'Atenció als Museus* (SAM) de Girona, denominados: **SAM C12/11-SAM C12/5- SAM C12/2**.¹⁴ Se encontraban en el interior de la cámara de estabilización.

En **gris** son los datos extraídos del *data logger* del *Museu Marítim de Barcelona* (MMB), denominado **Confort-Software V3**. Se encontraba en el interior de la cámara de estabilización.

En **blanco** son los datos extraídos del *data logger* del Laboratorio de conservación-restauración del *Servei d'Arqueologia de Barcelona* (SAB) denominado **Data Logger 1**. Se encontraba en el exterior de la cámara de estabilización.

¹¹ Propiedad del *Museu Marítim de Barcelona* (MMB).

¹² Propiedad del Laboratorio de conservación-restauración del *Servei d'Arqueologia de Barcelona* (SAB), dirigido por Montserrat Pugès.

¹³ Equipo de trabajo de montaje de la cámara de secado en el *Museu Marítim de Barcelona* (MMB): Cati Aguer, restauradora-colaboradora del MAC-CASC; Rut Geli y Joan Mayoral, arqueólogos *freelance* y colaboradores del MAC-CASC; y Pol Camps, restaurador *freelance*. Equipo de trabajo de secado controlado y/o estabilización: Cati Aguer, restauradora colaboradora del MAC-CASC, Kusi Colonna-Preti, restauradora colaboradora del *Servei d'Arqueologia de Barcelona* (SAB), Teresa Sala y Cristina Latorre, restauradoras del *Museu Marítim de Barcelona* (MMB).

¹⁴ Propiedad del *Servei d'Atenció als Museus de Girona* (SAM), dirigido por Jordi Nogués.

	DIC.	ENE.	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEP.	OCT.	NOV.
HR (%)	79,44	79,83	78,88	Del 1 al 10 80,24								
				Del 19 al 27 75,72	82,68	78,33	74,26	71,05	69,12	67,15	63,74	59,87
				El 13 81,5	85,5	79,50	75,10	70,90	70	63,20	60,20	
T (°C)	16,98	16,13	16,09	Del 1 al 10 17,29								
				Del 19 al 27 21,54	21,70	22,12	22,48	22,98	23,83	23,28	22,35	21,50
				El 13 13,2	21,90	22,50	23,10	24,30	24	22,20	22,40	

¹⁵ Todos los trabajos del tratamiento de eliminación de sales, de impregnación hasta la resen con polietilenglicol y secado controlado y/o estabilización han sido supervisados por Montserrat Pugès, restauradora responsable del Laboratorio de conservación-restauración del *Servei d'Arqueologia de Barcelona*.

¹⁶ Este trabajo ha sido dirigido por Lúdia Font, restauradora responsable del *Museu d'Història de Barcelona* (MUHBA).

CONCLUSIONES

Me gustaría destacar que los trabajos de conservación de las maderas arqueológicas del pecio *Barceloneta I* empiezan en 2008 con el hallazgo en la excavación, continúan con la llegada de las piezas de madera al *Centre d'Arqueologia Subaquàtica de Catalunya* (CASC), para comenzar el tratamiento de eliminación de sales y de impregnación hasta la saturación con polietilenglicol, donde permanecen hasta el mes de marzo de 2015, momento en que las maderas son trasladadas al *Museu Marítim de Barcelona* (MMB) para llevar a cabo el procedimiento de secado controlado y/o estabilización, que acaba el mes de noviembre de 2015.

Este compendio comporta un camino de siete años (2008-2015) transcurridos desde el momento que se descubre el pecio hasta la estabilización final a temperatura y humedad ambiente. La conservación de un pecio de estas características comporta un trabajo ingente, en el cual ha hecho falta dotarse de un presupuesto extraordinario y la implicación de técnicos especialistas y varias instituciones.¹⁵ Actualmente el pecio ya se encuentra expuesto al público, desde 2021, en el *Museu d'Història de Barcelona* (MUHBA).¹⁶

AGRADECIMIENTOS

A Anna Jover Armengol, que me encaminó en los conocimientos aplicados a la conservación de material orgánico sumergido.

Al Centro ARC-Nucléart, por encaminarme en los conocimientos para el secado controlado y/o estabilización.

A Xavier Nieto, por su confianza en mí.

IMÁGENES

PORTADA Vista de las maderas traveseras y de la plataforma con las maderas encima, sin agua y con agua (Fotografía: CASC).

1 Limpieza en el patio del laboratorio de conservación y restauración del *Centre d'Arqueologia Subaquàtica* de Catalunya de Girona, en el momento de llegada de una pieza (Fotografía: CASC).

2 Sistema de etiquetado de las piezas (Fotografía: CASC).

3 Maderas dentro del depósito del laboratorio (Fotografía: CASC).

4 Imagen de la extracción y traslado de una de las piezas (Fotografía: CASC).

5 Limpieza de las maderas (Fotografía: CASC).

6 Imagen de detalle de las grapas de acero inoxidable (Fotografía: CASC).

7 - **9** Vista de las maderas traveseras y de la plataforma con las maderas encima, sin agua y con agua (Fotografía: CASC).

10 Introducción del agua destilada y del PEG 4000 en el depósito (Fotografía: CASC).

11 Imagen de las maderas testigo (Fotografía: CASC).

12 Toma de medidas (Fotografía: CASC).

13 Pesada de una pieza (Fotografía: CASC).

14 Comprobación de la forma y las medidas de una pieza sobre el calco (Fotografía: CASC).

15 Gráfica de impregnación con PEG 4000 (Imagen: CASC).

16 Limpieza del excedente de PEG 4000 (Fotografía: CASC).

17 Vista del recinto provisional construido en el laboratorio del CASC de Girona (Fotografía: CASC).

18 Momento del traslado de las piezas con el camión grúa al *Museu Marítim de Barcelona* (Fotografía: CASC).

19 Vista de la cámara de estabilización para el secado controlado en el *Museu Marítim de Barcelona* (Fotografía: CASC).

20 Gráfica de estabilización y secado (Imagen: CASC).

BIBLIOGRAFÍA

AGUER, C. "Baluard del Migdia. Conservació del derelict i del pou". *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona 2012*, (2014), p. 185-188.

AGUER, C. "Baluard del Migdia. Conservació del derelict i del pou (II)". *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona 2014*, (2016), p. 252-253.

AGUER, C. "Baluard del Migdia. Conservació del derelict i del pou (III)". *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona 2015*, (2017), p. 229-231.

BERNARD-MAUGIRON, H. [et al.]. *Sauvé des Eaux. Le patrimoine archéologique en bois, histoires de fouilles et de restaurations*. Grenoble: Arc-Nucléart, 2007.

JOVER ARMENGOL, A. (1994). "La consolidación de la madera empapada de la barca de les Sorres X, Castelldefels (Baix Llobregat)". En: ESCALERA UREÑA, A.; PÉREZ GARCÍA, C. (coords.) *X Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales - Cuenca. 29, 30 de septiembre, 1, 2 de octubre de 1994*. Cuenca: Ministerio de Cultura, Secretaría del Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, p. 59-67.

MOLINAS, M. "Baluard del Migdia". *Anuari d'Arqueologia i Patrimoni de Barcelona 2010*, (2011), p. 136-149.

NIETO, X. *Informe sobre el vaixell aparegut a la plaça de Pau Vila, 12-13b de Barcelona i proposta de trasllat i conservació*. Girona: MAC-CAS, 2008.

SIERRA, J. L. "La conservación de la madera en arqueología subacuática". *Monte Buceiro* (2003), nº 9, p. 248-249.

SOBERÓN, M. "El port baix medieval de la ciutat de Barcelona: una visió des de l'arqueologia. L'escullera de 1477 i la troballa d'un vaixell tinglat". *QUARHIS* (2010), Vol. II, nº 6, p. 142-148.