

Arqueología //**Tratamiento de conservación-restauración de un peine de cuerno del siglo XVIII empapado de agua.**

El presente artículo es un extracto del Trabajo Final del Título Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales de los estudios de conservación-restauración en la ESCRBC. Recoge la experiencia de conservación-restauración de un peine de cuerno del siglo XVIII recuperado del pecio de la *Jeanne-Élisabeth* en el golfo de León y tratada en los laboratorios de ARC-Nucléart en Grenoble. La intervención presentó varios retos, el más importante, una descamación y deformación severa que el objeto sufrió durante el proceso de secado controlado.

Irene García Alonso. Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Bienes Arqueológicos por la ESCRBC. Trabajadora autónoma.
irenegarcial4@gmail.com

Palabras Clave: peine, cuerno, queratina, material orgánico empapado, subacuático, ARC-Nucléart, pecio de la *Jeanne-Élisabeth*.
Fecha de recepción: 5-IV-2021 > **Fecha de aceptación:** 8-IV-2021



El equipo que intervino directamente sobre el objeto estaba formado por Henri Bernard-Maugiron, conservador-restaurador como jefe del proyecto; Stéphane Garrivier y Floriane Hélias, conservadores-restauradores encargados de la recepción, limpieza y desalado del objeto; Irene García, conservadora-restauradora encargada de la estabilización, restauración y acondicionamiento; Thomas Guiblain, técnico encargado de los análisis fisicoquímicos, y Christophe Terpent para la fotografía, aunque todos los trabajadores de la institución se implicaron de alguna forma u otra en el proceso.

Durante la intervención de la pieza, tomamos conciencia de la escasa bibliografía, información y experiencias de las que disponíamos sobre este material, tan común y de uso popular durante toda la historia de la humanidad, antes de la extensión del uso del plástico en el siglo XX.

Comparando con otros materiales más habituales en contextos arqueológicos, sobre los cuales existen múltiples publicaciones que refieren diferentes problemáticas, en este caso no fuimos capaces de encontrar ninguna publicación ni referencia de un caso similar. Aun así, pudimos compilar bastante información sobre el cuerno en diferentes tratados específicos, así como en obras más generalistas de conservación-restauración.

El objetivo de este artículo es, por lo tanto, presentar las características del material y dar testimonio de la intervención de este objeto singular para difundir la información, con la esperanza de que pueda ser de utilidad en el futuro.

EL MATERIAL: EL CUERNO

En este apartado nos centraremos en el cuerno de bóvido² que es el material constitutivo del peine intervenido. Es un material que se conserva muy excepcionalmente en excavaciones arqueológicas húmedas, así como el pelo humano, la lana, las plumas y, en general, los compuestos de queratina.

INTRODUCCIÓN¹

Entre enero y marzo del año 2016, en el contexto de unas prácticas académicas en el laboratorio de conservación-restauración de ARC-Nucléart en Grenoble, tuve la oportunidad de tratar varios materiales de naturaleza orgánica procedentes del pecio de la *Jeanne-Élisabeth*, un barco de comercio con bandera sueca que naufragó en frente de las costas de Villeneuve-lès-Maguelone (Francia) en 1755.

ARC-Nucléart es un laboratorio especializado en la conservación y la restauración de objetos patrimoniales constituidos por materiales orgánicos —en particular madera, cuero y fibras— o porosos. Es uno de los centros europeos de referencia para el tratamiento de objetos arqueológicos en madera de grandes dimensiones.

El objeto que se tenía que intervenir en este caso era un pequeño peine de cuerno de bóvido empapado en agua. Durante todo el proceso de conservación-restauración presentó varios retos, el más importante, una descamación y deformación severa que sufrió durante el proceso de secado controlado.

¹ Este artículo ha sido traducido del original en catalán al castellano por Mariona Gràcia Closa, alumna de tercer curso de la especialidad de Conservación y Restauración de Bienes Arqueológicos de la ESCRBC.

² Es interesante observar que en varias lenguas existe una diferencia terminológica entre el cuerno de los bóvidos y el asta de los cérvidos, en inglés *horn* y *antler*, en francés *corne* y *bois de cervidé* y en español cuerno y asta; sin embargo, en catalán se utiliza el mismo término para ambos: *banya*.

1. Definición y procedencia

El cuerno es una protuberancia frontal que poseen muchos rumiantes (bóvidos, cérvidos, antilocápridos y jiráfidos). En general, crecen en pares y son usados como órganos de ataque. Hay que distinguir diferentes tipos de cuernos. **1** [pág.88]

Los cuernos de los bóvidos son formaciones epidérmicas de fibras córneas de queratina, sostenidas por una apófisis del hueso frontal. No se ramifican, crecen acorde con el crecimiento total del animal así que, si son arrancados, no vuelven a crecer. Otra característica que los distingue es que están huecos.

Las astas de los cérvidos son formaciones totalmente óseas, derivadas del hueso frontal. Casi siempre están ramificadas y caen anualmente. Contrariamente a los cuernos de los bóvidos, las astas de cérvidos son macizas y sin estuche córneo.

Los cuernos de los antilocápridos son como los de los bóvidos, pero anualmente renuevan la vaina o estuche. En los jiráfidos son protuberancias óseas cortas persistentes, revestidas de piel y de pelo. Por extensión, también se le llama cuerno a la protuberancia nasal o frontal de algunos animales como el rinoceronte; esta es una formación epidérmica de fibras córneas soldadas con queratina, pero en el interior no tienen un núcleo óseo esponjoso.³ Por su estructura, a menudo se los compara con un pelo.

Los cuernos de los bóvidos pueden asumir una remarcable variedad de formas y colores en función de las especies animales, del género, de su estadio de desarrollo y de la forma en que son utilizados. El color del cuerno depende de la melanina y puede ir desde el blanco o verde hasta el marrón rojizo o el negro. El cuerno es translúcido en el momento en que es cortado y se vuelve más opaco con el tiempo.⁴

2. Composición

El cuerno de bóvido es un estuche córneo de queratina que recubre un núcleo óseo esponjoso. **2** [pág.89] Otros materiales compuestos de queratina son las garras, las uñas, las pezuñas, las plumas, los pelos, los cabellos, la lana, las barbas de ballena o el caparazón de tortuga.

A fin de conocer el material del cuerno y comprender los mecanismos de degradación, hay que explicar la composición y estructura de la proteína queratina. Como todas las proteínas, está conformada por la unión de aminoácidos que forman cadenas de polipéptidos. En el caso de la queratina de los cuernos, la cadena tiene forma de hélice por acción de puentes de hidrógeno entre los aminoácidos que la conforman. Esta estructura confiere la dureza característica de la proteína.

Estas cadenas en hélice se van agrupando entre sí, unidas por enlaces cruzados de disulfuro, en estructuras cada vez más complejas, llegando a formar una estructura lamelar. **3** [pág.89]

Las lamelas se alinean de manera longitudinal respecto al eje del cuerno. Entre las lamelas, y de forma paralela, se incluyen túbulos elípticos que confieren un grado de porosidad a la estructura. **4** [pág.90]

Es interesante conocer que los puentes disulfuro que dan cohesión a la estructura son los responsables de las propiedades termoplásticas del cuerno. En inmersión en agua caliente los enlaces disulfuro de la queratina se rompen y permiten la maleabilidad del material; cuando se seca y se enfría se vuel-

ven a establecer en una nueva posición, dando rigidez a la estructura.⁵

Una de las características de los cuernos es su extrema resistencia a los impactos, ya que a menudo son sometidos a fuertes golpes durante la vida del animal. Recordemos que los cuernos de los bóvidos son persistentes, si se rompen durante una lucha entre animales, no volverán a crecer. Se ha demostrado que los cuernos poseen una energía de absorción muy elevada; este rendimiento mecánico se tiene que atribuir a la estructura de la queratina que se ha descrito anteriormente.⁷

También se ha visto que el factor de hidratación es esencial para las propiedades de tensión. Se ha demostrado que la queratina del cuerno presenta el punto de trabajo de fractura más elevado con un 8% de contenido de agua. Esto puede explicar por qué los bóvidos mojan los cuernos con barro o plantas: para evitar la deshidratación y asegurar propiedades mecánicas óptimas en situaciones de ataque y de defensa.⁸

3. Transformación y usos

El cuerno puede ser utilizado entero, manteniendo su forma cónica curvada, o bien sometándolo a un proceso de transformación del cual resulta una placa. En el primer caso encontraríamos cuernos utilizados como recipientes –los cuernos para beber, para pólvera– o los cornos, instrumentos de viento. El cuerno cónico también se puede seccionar para obtener anillos y, a partir de aquí, objetos de forma anular como pueden ser brazaletes.

En el segundo caso, en el proceso descrito por MacGregor,⁹ la transformación del cuerno en un material blando y maleable es relativamente sencilla mediante calor, a pesar de que el proceso consta de varios pasos. Para empezar, hay que dejar el cuerno en remojo durante varias semanas para que la vaina queratinosa se separe del núcleo óseo. A continuación, el estuche queratinoso se hierve y se extrae con pinzas sobre el fuego para dejar evaporar el exceso de agua; el cuerno queda así preparado para poder ser abierto.

El proceso se debe realizar de manera rápida y eficaz, manteniendo la temperatura apropiada para que el material no se chamusque ni vuelva a la forma original.

La placa de cuerno se presiona entre placas de hierro calientes y engrasadas hasta que se seca y se enfría, manteniendo así su nueva forma. A continuación, se procede a alisar la superficie y recortar la placa hasta que esté a punto para fabricar objetos.

Las principales tipologías de objetos que encontramos realizadas a partir de placas son: cajas, cofres, peines, estuches, botones, perlas, cucharas y apliques para cascos, arcos, balistas, empuñaduras de espada y mangos. Las láminas traslúcidas se utilizan para ventanas de linterna.

El aprovechamiento de este material versátil tuvo su esplendor durante el siglo XIX, cuando se usó para objetos tan variados como mangos de sombrillas, boquillas de puro o tapas de interruptores eléctricos, hechos a partir de pequeños fragmentos o polvos de cuerno modelados sobre matrices bajo calor y presión.¹⁰

Según MacGregor, los métodos descritos fueron usados de manera habitual durante los últimos tres siglos, pero tienen orígenes mucho más antiguos que se remontan a la época romana. El uso del material, sin embargo, está documentado desde tiempos prehistóricos. Aunque de estas cronologías no se conservan testigos directos, el uso y la transformación

³ *Gran Enciclopèdia Catalana*. Barcelona: Edicions 62, 1969. Vol. 3, p. 151-152 i 783; Vol. 5, p. 46.

⁴ FLORIAN, M.-L. *Protein Facts. Fibrous Proteins in Cultural Artifacts and Natural History Artifacts*. London: Archetype Publications, 2007, p. 5.

⁵ WANG, B.; "Keratin: Structure, mechanical properties, occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration". *Progress in Materials Science*. Vol. 76 (2016), p. 229-318. Disponible en línea en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079642515000596>> [Consulta: 8 mayo 2020].

⁶ CRONYN J.M. *The elements of archaeological conservation*. London: Routledge, 1990, p. 282.

⁷ TOMBOLATO, L. [et al] "Microstructure, elastic properties and deformation mechanisms of horn keratin". *Acta Biomaterialia*. Vol. 6 (2010), p. 319-330. Disponible en línea en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19577667/>> [Consulta: 8 mayo 2020].

⁸ WANG, B. [et al] "Keratin: Structure...", p. 266.

⁹ MACGREGOR, A. *Bone, Antler, Ivory & Horn. The Technology of Skeletal Materials Since the Roman Period*. London-New York: Routledge, 2015, p. 66-67.

¹⁰ *Ibidem*.

de los cuernos se ha evidenciado indirectamente mediante el estudio de las trazas sobre los núcleos óseos que se han preservado.

4. Agentes y formas de alteración

El agua caliente, usada provechosamente en el proceso de manufactura para ablandar y trabajar el cuerno, también puede tener consecuencias negativas para la conservación del material. En efecto, el calor y la humedad son capaces de volver a deformar el objeto de cuerno manufacturado si entran en contacto con él, sobre todo si este es sometido a presiones.

En cuanto al efecto del agua, la hidrólisis de la queratina es generalmente lenta, excepto en condiciones de elevado pH, cuando los puentes disulfuro se rompen. El resultado es un debilitamiento y fragilidad del material, primero de la matriz y después de los filamentos de queratina. En un ambiente subterráneo, el cuerno se vuelve opaco y empieza a laminarse a medida que la matriz se hidroliza; la estructura filamentosa se hace evidente. La descomposición continúa hasta que el cuerno se convierte en una pulpa fibrosa. Al secarse, la pulpa se convierte en polvo.

En situaciones de muy baja higrometría, el material puede perder el agua asociada a los filamentos de queratina, provocando contracciones y deformaciones. Los cuernos completos se pueden agrietar longitudinalmente desde la base hacia la punta, se pueden exfoliar y las capas a menudo se pueden curvar.¹¹

Respecto a las formas de alteración física, dado que el cuerno es un material poroso, se puede manchar en contacto con metales corroídos usados en objetos compuestos, como suele ser el caso del cobre o del hierro. La coloración involuntaria también se puede producir a consecuencia del contacto con materiales coloreados, como la pólvora o las bebidas, en el caso de cuernos usados como recipientes.

El cuerno de bóvido, contrariamente a las astas de cérvido, al hueso y el marfil, puede ser atacado por larvas de insectos coleópteros, del género *Anthrenus*, y lepidópteros, como las polillas. Las larvas pueden causar pérdidas, formando perforaciones en el material.

En el registro de las alteraciones que tienen como efecto un cambio del color, debemos citar el amarilleamiento del cuerno. Por este motivo, hay que vigilar de no dejar el cuerno al sol o bajo una iluminación artificial inadecuada.¹²

Según el ICC (*Institut Canadien de Conservation*) las condiciones ambientales idóneas para la conservación preventiva de los objetos constituidos de cuerno de bóvido estarán comprendidas dentro de los siguientes parámetros:

- 45-55 % de humedad relativa.
- No exceder los 25 °C de temperatura.
- Evitar la exposición continuada a fuentes lumínicas, con un máximo de 150 lux.

5. Identificación

Desde un punto de vista macroscópico, el cuerno de bóvido presenta una estructura de finas líneas paralelas, como una especie de filamentos duros parecidos a paquetes de cabellos endurecidos. En general, tiene una superficie externa lisa y brillante mientras que la del interior es más rugosa y opaca.¹³

Aparte del análisis organoléptico, a menudo suficiente para identificar el cuerno, también existen diferentes técnicas de análisis fisicoquímicos que se pueden aplicar en la identifica-

ción de materiales proteicos. Estos son el análisis de ADN, la espectrometría de infrarrojos o la espectrometría de masas.

Aun así, hay que tener en cuenta que el análisis puede ser dificultado por factores relacionados con las características propias de los materiales arqueológicos. Nos referimos a perturbaciones provocadas por el ambiente de enterramiento, como pueden ser alteraciones químicas, alteraciones físicas o contaminación del ambiente de enterramiento, que pueden influir en la confirmación de los espectros.¹⁴

EL CASO: INTERVENCIÓN SOBRE UN PEINE DE CUERNO DEL SIGLO XVIII EMPAPADO DE AGUA

1. Descripción del objeto

Se trata de un peine fabricado de una sola placa de cuerno de bóvido, con un perfil curvado de un solo frente de púas. Consiste de treinta y tres púas, con una separación entre ellas superior al grueso de la misma púa. Las dos púas de los extremos son más gruesas para dar resistencia mecánica al utensilio. El largo de las púas representa dos tercios del ancho total del peine, el cual mide 108 mm de largo, 50 mm de ancho y 9 mm de grosor. En su ingreso en el laboratorio, el objeto presentaba una coloración marrón y negra, dibujando aguas, y un aspecto totalmente opaco. **5** [pág.91]

La tipología del peine corresponde a los nombrados *peigne à chignon*. Se trata de un peine que no tiene la función de desenredar ni limpiar el pelo, sino de sujetarlo en un moño en la parte baja de la nuca. Si nos fijamos en su morfología, su perfil es curvado con tal de adaptarse a la curvatura de la cabeza. La separación entre púas es considerable: más ancha entre las puntas y más estrecha entre las raíces de las púas; podemos deducir que con la función de agrupar manojos de cabello relativamente gruesos que puedan sostener la tensión del peinado.

2. Estado de conservación

En el momento de ingreso en el laboratorio, el peine se conservaba completamente empapado en agua dulce. Su peso en este estado era de 22,2 gramos.

Se observaba la presencia de una ligera laminación del soporte, una fisura en el mango y pequeños desprendimientos superficiales en forma de láminas. Algunas púas se encontraban fracturadas y laminadas. Se conservaban siete fragmentos de púa desprendidos del cuerpo del peine. **6** [pág.92]

El material se presentaba bastante duro, aunque tenía cierta plasticidad. El sondeo con una aguja revelaba que esta casi no penetraba dentro del material.

También se identificaba la presencia de limos en superficie. Se presentaban como un plástico relativamente impermeable, muy adherido a la superficie del objeto y depositado entre las púas. Estos limos presentaban cierta compactación, pero eran solubles en agua al aplicar fricción con un pincel. Entre las púas, adheridos a los limos, se conservaban cabellos muy finos y quebradizos.

3. Análisis

En el primer momento surgieron dudas sobre la identificación del material. En efecto, por un lado, se trata de un material inusual en un contexto arqueológico; por otro lado, el estado de degradación avanzado podía confundir sobre su naturaleza. Se contempló la posibilidad de que fuera algún tipo de madera exótica, sin embargo, parecía claro que era un material orgánico.

El material se identificó mediante un análisis por espectrome-

¹¹ CRONYN J.M. *The elements of...*, p. 283-284.

¹² STONE, T. "Entretien des objets en ivoire, en os, en corne et en bois de cervidé". *Notes de l'Institut Canadien de Conservation*, nº 6/1 (1983), p. 1-4. Disponible en línea en: <<https://www.canada.ca/content/dam/cci-icc/documents/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/6-1-fra.pdf>> [Consulta: 8 mayo 2020].

¹³ MACGREGOR, A. *Bone, Antler...* p. 9-21.

¹⁴ Ver las páginas 405 a 411 de: O'CONNOR, S.; SOLAZZO, C.; COLLINS, M. "Advances in identifying archaeological traces of horn and other keratinous hard tissues". *Journal of the American Institute for Conservation*. Vol. 60 (2015), nº 6, p. 393-417. Disponible en línea en: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1179/2047058414Y.0000000134>> [Consulta: 8 mayo 2020].

tría de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) en los laboratorios de ARC-Nucléart.

La espectrometría de infrarrojos sirve para evidenciar los diferentes tipos de enlaces químicos existentes en un compuesto. Para conseguirlo, se analiza la energía que estos absorben al vibrar al ser expuestos a una frecuencia de onda infrarroja. Cada enlace químico tiene una forma particular de vibrar y absorber la energía que lo hace identificable. El resultado que se obtiene es un espectro en el cual aparecen diferentes bandas de absorción a diferentes longitudes de onda. A continuación, el espectro se compara con una base de datos para identificar el material de la muestra.¹⁵ Dicho de otra forma, el espectro sería una como una huella digital del material.

En el presente caso, se extrajo una pequeña muestra con bisurfi bajo lupa binocular, que se introdujo en el espectrómetro.

El espectro resultante indicó la presencia de varios compuestos químicos, revelados por las bandas de absorción de los diferentes enlaces entre elementos:⁷ [pág.93]

- **Aminoácidos:** bandas de absorción C=O sobre 1.650 cm^{-1} y N=H sobre 3.050 cm^{-1} .
- **Colesterol:** banda de absorción O-H sobre 3.270 cm^{-1} y C=C sobre 1.540 cm^{-1} .
- **Fosfolípidos:** doble pico sobre 1.240 cm^{-1} que corresponde a la absorción del enlace P=O.
- **Hidrocarburos saturados:** vibración de deformación C-H sobre 1.450 cm^{-1} .

Este espectro coincide con el característico del cuerno.⁸ [pág.93] Sin embargo, debido a la degradación química del material, con esta técnica no es posible determinar la especie del animal. La observación macroscópica del material, la comparación con otros peines de cuerno de bóvido y la técnica de fabricación —análoga a procedimientos contemporáneos— parecen indicar que el peine estaría hecho de cuerno de la familia de los bóvidos y de la subfamilia de los bovinos.

4. Propuesta de conservación-restauración

En cuanto al proceso de estabilización del objeto, se propuso un secado controlado para eliminar el agua excedente en la estructura, descartando así los habituales procesos de liofilización o sustitución del agua por solventes. Esta propuesta se justificó dado el buen estado de conservación de la pieza y dada la falta de experiencia previa en el tratamiento del cuerno.

El secado controlado es un tratamiento gradual, de larga duración, en el cual el objeto es observado periódicamente. Se valoró que estas características del tratamiento ofrecían un riesgo inferior al proceso de liofilización o de sustitución del agua por solventes.

Además de las precauciones para la estabilización del objeto, se consideró adecuado reforzar el material y aportar consistencia en la estructura degradada mediante la consolidación con un polímero hidrosoluble por inmersión. Esta operación es previa al secado controlado.

Veremos más adelante cómo, durante el proceso de secado, el objeto reaccionó desfavorablemente, lo que supuso tener que replantear la propuesta inicial.

5. Acciones de conservación

5.1. Limpieza y desalación

La eliminación de los limos depositados sobre la superficie del peine se realizó con la aplicación de agua corriente, con

una ligera presión y pinceles suaves. Para retirar los depósitos limosos entre las púas, se usó un palito de madera, procurando no hacer presión sobre la superficie para no dejar trazas sobre el objeto.

Los cabellos que se encontraban entre las púas se retiraron con cuidado y se guardaron en una bolsa de polietileno con cierre de tipo *zip* para posibilitar futuros análisis.

Una vez realizada la limpieza, se procedió a la documentación fotográfica. A continuación, el objeto se emplazó dentro de una bolsa de malla de polietileno termo-sellada para permitir el tránsito de líquidos y, a su vez, mantener todos los fragmentos juntos durante la desalación de la pieza, que se prolongó dos meses.

5.2. Estabilización

La estabilización de los materiales orgánicos empapados en agua tiene el objetivo de lograr un equilibrio estable en el ambiente atmosférico e implica la extracción del agua contenida en exceso dentro de la estructura. Este proceso se tiene que realizar de una manera controlada; de otro modo, el objeto se secaría rápidamente y se deformaría. La mayoría de los casos requieren una consolidación previa, excepto si la estructura del material está poco degradada.

Con tal de extraer el exceso de agua, minimizando las tensiones, se aplican diversos métodos, como pueden ser el secado controlado, la sustitución del agua en exceso por solventes más volátiles y la liofilización. Estos métodos pueden implicar diferentes grados de consolidación previa del material.

El secado controlado requiere colocar el objeto en una caja o recipiente hermético para controlar la humedad relativa. En este ambiente cerrado, el aire se satura rápidamente de humedad y eso detiene el proceso de secado del objeto. El tratamiento de secado consiste en disminuir progresivamente la humedad relativa del aire de la caja gracias a su apertura controlada. Idealmente, el descenso de humedad relativa tiene que ser de cinco puntos porcentuales, dejando tiempo entre cada apertura de la caja para que el material pueda aclimatarse. También es posible rehumidificar el ambiente, aportando humedad cuando el proceso se desarrolla demasiado rápidamente.¹⁶

El secado controlado sin impregnación, o con una impregnación ligera, es un proceso lento que requiere una supervisión durante las semanas o meses en que se desarrolla. Por tanto, supone una atención constante y una previsión de permanencia del personal que lleva a cabo el tratamiento, además de una comunicación eficaz entre el equipo, si son varias las personas implicadas en el seguimiento.

El secado controlado tiene generalmente la ventaja de no incorporar consolidantes a la estructura del material. Si es necesario, la consolidación se suele realizar en concentraciones bastante más bajas que en el caso de la liofilización o de los tratamientos de consolidación hasta la saturación.¹⁷

Primera consolidación

En este caso, se optó por una consolidación por inmersión en una solución de polietilenglicol (PEG), concretamente el producto PEG400 disuelto al 20% en agua destilada. Se propuso esta consolidación para reforzar la estructura y evitar pérdidas de volumen, deformaciones o agravamiento de la laminación. El objeto se sumergió durante tres semanas antes de proceder al secado controlado.

El PEG es un polímero hidrosoluble muy usado para la con-

¹⁵ GÓMEZ, M.L. *La restauración: examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Madrid: Cátedra, 1998, p. 195-258.

¹⁶ Ver las páginas 266 a 261 de: DE LA BAUME, S. "Les matériaux organiques". En: BERDUCOU, M. *La conservation en archéologie*. París: Masson, 1990, p. 222-270.

¹⁷ *Ibidem*.

solidación de material orgánico empapado. El PEG se usa en diferentes pesos moleculares; los más habituales son los que van de 400 a 4.000 g·mol⁻¹. El peso molecular del PEG determina su consistencia a temperatura ambiente, siendo el de 400 líquido y el de 4.000 sólido.¹⁸

La elección del PEG400 para la consolidación del peine vino marcada por diferentes razones. La primera radica en las garantías de los resultados como consolidante para materiales orgánicos a lo largo de los años. Esto se traduce en una compatibilidad y estabilidad de los materiales. La segunda consiste en la capacidad de penetración del PEG dentro de la estructura, la cual asegura una consolidación en profundidad del objeto. La tercera es la calidad de ser un producto hidrosoluble que, por lo tanto, no requiere realizar un cambio de solvente al objeto previo a la consolidación. La cuarta radica en el hecho de que sea fácilmente reversible a escala superficial, lo que permite controlar el acabado final en superficie.

Respecto a la elección del peso molecular del PEG, se seleccionó el más bajo porque permite una mejor impregnación del material en un ambiente frío. El objetivo era evitar calentar el baño de PEG de un material termoplástico degradado, en este caso el peine empapado.

Primera fase del secado

Según el procedimiento antes descrito, el peine se extrajo del baño de PEG y se colocó en un recipiente de plástico de cierre hermético. En su interior se colocaron un termohigrómetro y un papel impregnado de agua –evitando el contacto con la pieza– para mantener la humedad relativa alrededor del 100%.

La caja permaneció en un laboratorio climatizado durante todo el tratamiento. Se tuvo cuidado de evitar las oscilaciones de temperatura del ambiente, ya que trabajando con humedades relativas elevadas, un descenso de unos grados de temperatura puede suponer la condensación de la humedad, tanto sobre las paredes del recipiente como sobre la superficie del objeto.

Se controló la evolución del peso del objeto y de la humedad relativa de la caja cada dos o tres días, aprovechando estos momentos para dejar la caja abierta unos minutos y renovar el aire. Esto tuvo por efecto la bajada gradual de la humedad relativa dentro de la caja. ⁹ [pág.94]

A pesar de la consolidación previa, durante la ejecución de este proceso la estabilidad de la pieza se vio comprometida. Al llegar a una tasa del 85% de humedad relativa, después de tres semanas, se observó una deformación notable de la fisura del mango y de las púas. Además de la deformación, se produjo una separación de las capas del material que ya se presentaba laminado. Las diferentes capas presentaban ahora una rigidez que no permitía devolver el material a su forma inicial. ¹⁰ [pág.95]

Como primera medida de reparación, se volvió a elevar la humedad relativa al 100% dentro del contenedor mediante la introducción de papeles mojados. Esta medida dio resultados muy positivos, ya que permitió detener el progreso de la deformación y recuperar parte de la flexibilidad del material. ¹¹ [pág.95]

Pocos días después de la rehidratación del peine apareció un velo blanquinoso uniforme sobre la superficie. Pensamos que podría tratarse de PEG exudado por el objeto a causa de las variaciones higrométricas o de moho aparecido a raíz del aumento de humedad dentro del recipiente.

Como segunda medida de reparación se procedió a la eliminación del velo blanquinoso, después de observar que se eliminaba fácilmente mecánicamente y la limpieza no parecía afectar a la superficie.

En el gráfico de control se puede observar que la rehumidificación del objeto se reflejó no solo en su flexibilidad, sino también en un aumento significativo de peso. ¹² [pág.96] Una vez revertida esta situación, en la cual peligraba la integridad del objeto, se inició un proceso de investigación y experimentación para solucionar el problema de estabilidad que presentaba la pieza y profundizar en un fenómeno de alteración, documentado en la bibliografía, pero poco conocido.

Recuperación de la forma

La rehidratación del objeto permitió reencontrar la plasticidad del material para remodelar y recuperar la forma del peine. Con este propósito, se fabricó un instrumento de contención de acero inoxidable compuesto por dos rejillas con espuma de polietileno cosida en su parte interior. De esta manera, el instrumento se pudo adaptar a las pequeñas irregularidades del peine. ¹³ [pág.97] Las dos rejillas sostenían entre ellas la pieza mediante la presión de unas pinzas. ¹⁴ [pág.97]

Se procuró que las placas de contención tuvieran la misma curvatura que el peine antes de la deformación provocada durante el primer secado. Se escogieron planchas de acero perforadas para permitir el acceso de líquidos, dado que se consideró necesaria una segunda consolidación por inmersión.

Segunda consolidación

Se consideró que, para retomar el proceso de secado, había que volver a consolidar el objeto con la intención de reforzarlo estructuralmente y adherir las láminas descohesionadas.

Se buscó un producto en solución acuosa que tuviese propiedades mecánicas parecidas al cuerno –con cierta elasticidad y termoplástico. Con este propósito se realizaron pruebas con dos resinas acrílicas y dos vinílicas en emulsión acuosa, que permitieran la impregnación del objeto. Entre los productos disponibles en el almacén de ARC-Nucléart se seleccionaron los siguientes:

- Plextol® B500 al 30% en agua.
- Acril® 33 al 30% en agua.
- Mowilith® DMC2 al 20% en agua.
- Evacon® R al 20% en agua.

Por otro lado, se plantearon tres tipos de pruebas: una mecánica de adherencia, una de solubilidad y una óptica de brillo y transparencia. ¹⁵ [pág.97]

Las pruebas de adherencia se hicieron para evaluar dos aspectos de los productos. El primero, la capacidad de adhesión entre dos materiales porosos –madera y madera– y entre un material poroso y uno compacto y liso –madera y plancha de polipropileno. El segundo, la eficacia de la adhesión con o sin una impregnación previa con PEG. El método de evaluación de cada uno de estos aspectos fue el siguiente:

Capacidad de adhesión entre materiales de porosidad diferente:

se cogieron bastoncillos de madera planos y una plancha de polietileno; se pegaron los palitos por pares sobre la plancha, mediante la aplicación de la resina por inmersión de las maderas durante cinco minutos. La capacidad de adhesión se evaluó aplicando una fuerza manual para despegar los dos objetos. Si los objetos se despegaban con una ligera presión manual, la apreciación era negativa, o sea, que se consideraba que el producto no había adherido los dos objetos.

¹⁸ MUÑOZ VIÑAS, S.; OSCA PONS, J.; GIRONÉS SARRIÓ, I. *Diccionario Técnico Akal de Materiales de Restauración*. Tres Cantos (Madrid): Ediciones Akal, 2014, p. 248-249.

Eficacia de la adhesión con y sin impregnación previa con PEG: se usó polietilenglicol de peso molecular 400, el mismo producto que se usó para la primera consolidación del peine. Para esta experimentación se usó una disolución de PEG 400 al 35% en agua destilada, una concentración superior respecto a la impregnación realizada al peine –20%– para intentar pensar que el tiempo de inmersión para esta prueba fue significativamente más corto. Los materiales –bastoncitos de madera– se impregnaron primero en esta disolución durante cinco minutos y se dejaron secar al aire. Después, se siguió el mismo procedimiento descrito en el punto 1.

Los resultados de las pruebas son los siguientes:

PRUEBAS DE ADHERENCIA								
	IMPREGNACIÓN PREVIA PEG® 400 35%				SIN IMPREGNACIÓN			
	Plextol® B500 30%	Acril® 33 30%	Mowilith® DMC2 20%	Evacon® R 20%	Plextol® B500 30%	Acril® 33 30%	Mowilith® DMC2 20%	Evacon® R 20%
Adherencia madera-madera	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí
Adherencia madera-polipropileno	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Las pruebas de solubilidad se realizaron para evaluar la posibilidad de retirar el exceso de consolidante que quedase en superficie o entre las púas. Se testaron tres disolventes polares para disolver las cuatro resinas sintéticas ya descritas: agua, acetona y etanol.

El método de evaluación fue el siguiente: se fabricaron muestras aplicando los productos a pincel sobre una plancha de polipropileno y dejando endurecer las cuatro resinas testadas. A continuación, se aplicó el disolvente con un hisopo y se evaluó la solubilidad de la resina en función de si se retiraba o no. Se consideró que el producto era soluble cuando se retiraba con facilidad, parcialmente soluble cuando se ablandaba en contacto con el solvente, pero se tenía que ejercer una ligera abrasión mecánica para retirarlo, e insoluble cuando no se retiraba en ninguno de los supuestos anteriores.

A continuación, presentamos los resultados del experimento:

PRUEBAS DE SOLUBILIDAD				
	Plextol® B500 30%	Acril® 33 30%	Mowilith® DMC2 20%	Evacon® R 20%
Agua	Insoluble	Insoluble	Parcialmente soluble	Soluble
Etanol	Soluble	Soluble	Soluble	Parcialmente soluble
Acetona	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble

Las pruebas de brillo y transparencia se realizaron para evaluar el aspecto final de cada resina sobre la superficie del cuerno. Se hicieron pruebas de aplicación de las cuatro resinas sintéticas ya descritas sobre dos materiales con porosidad diferente: una plancha de espuma de polietileno extrudido de color negro (Plastazote®) –con superficie porosa y lisa– y una lámina de polipropileno de color blanco –con superficie compacta y lisa.

El método de evaluación fue el siguiente: se recortaron muestras de Plastazote® de 4 x 4 cm que se situaron sobre una plancha de polipropileno. A continuación, se aplicó una capa generosa de resina a pincel. Se consideró que el producto era brillante, satinado u opaco con una valoración visual. La transparencia se evaluó de la misma manera.

A continuación, se presentan los resultados del experimento:

PRUEBAS DE ACABADO EN SUPERFICIE				
	Plextol® B500 30%	Acril® 33 30%	Mowilith® DMC2 20%	Evacon® R 20%
Sobre Plastazote® (polietileno)	Transparente Satinado	Transparente Satinado	Transparente Mate	Transparente Mate con aureolas brillantes
Sobre plancha de polipropileno	Transparente Brillante	Transparente Brillante	Transparente Brillante	Transparente Brillante

En cuanto a las pruebas de adhesión, se comprobó que las resinas vinílicas demostraban más poder de adhesión que las acrílicas. En lo referente a la reversibilidad, también eran las vinílicas las solubles en más cantidad de solventes. Respecto a los valores en superficie, todas las muestras presentaban una muy buena transparencia, pero se valoró positivamente el Mowilith® DMC2, que era el único que ofrecía un acabado mate sobre material poroso.

Finalmente se seleccionó el adhesivo Mowilith® DMC2, ya que se consideró que presentaba la mejor adherencia, reversibilidad y un acabado en superficie aceptable para un objeto arqueológico en cuerno.

Antes de sumergir el objeto entero, se realizó una prueba de impregnación y secado de una de las púas desprendidas del peine. Los resultados fueron satisfactorios, aunque la púa no fuera representativa del tamaño ni de las tensiones presentes en el peine. La púa ya no presentó laminación y el aspecto era parecido al estado previo a la impregnación, por lo que respecta a color y brillo. ¹⁶ [pág.99]

A continuación, se procedió a la impregnación del peine, dentro del instrumento de contención, en un baño de Mowilith® DMC2 al 20% en agua destilada durante 72 horas. Fue necesario realizar esta impregnación con la ayuda del agitador magnético para evitar que el producto se concentrara en el fondo del recipiente. ¹⁷ [pág.100]

Segunda fase del secado

Una vez finalizada la impregnación, se retiró el exceso de resina en la superficie abriendo la prensa de contención, secando el objeto y situándolo otra vez bajo presión.

Para realizar este segundo secado, se planteó la posibilidad de acelerar el proceso con la aportación de aire tibio de un secador. ¹⁸ [pág.100] Esta idea surgió de la valoración del tipo de deformación que había sufrido el objeto en el primer intento de secado, en el que no se habían observado pérdida de volumen o contracción del material, sino una deformación y descohesión laminar observables a nivel macroscópico. Se valoró que favorecer la evaporación de agua de manera rápida, y con un control visual continuo durante el proceso, podría ser ventajoso. Después de consultar con el equipo, se decidió iniciar el proceso, aplicando aire tibio a intervalos cortos de tiempo, unos cinco segundos. Este proceso se prolongó durante unas horas, en las cuales el objeto, bajo contención, se pesó regularmente para controlar la eliminación del exceso de agua, hasta que el peso se estabilizó. Los resultados fueron muy satisfactorios, ya que el peine conservó su forma inicial, no se deformó ni laminó.

Al finalizar el proceso de estabilización, el objeto pesaba 14 gramos. Esto representa una pérdida de aproximadamente el 37% respecto a su peso inicial.

6. Acciones de restauración

Una vez estabilizado el objeto, se procedió a su restauración, con la intención de poner en valor el peine y restituirle lo más posible su aspecto original. Se adoptó un criterio estrictamente arqueológico. ¹⁹ [pág.101] Con esto se entiende que no se reintegró ningún elemento faltante y la intervención se limitó a las siguientes acciones:

- Eliminación de los residuos de consolidante en superficie que aportaban un cierto brillo. Se utilizó una mezcla de alcohol etílico y acetona al 50% y se actuó localmente con un hisopo.
- Corrección de pequeñas deformaciones debidas a la laminación, que habían quedado desplazadas durante la recuperación

de la forma. Se utilizó una mezcla de alcohol etílico y acetona al 50% para ablandar localmente el consolidante. Se colocaron palitos de madera y espuma de polietileno entre las púas para corregir las deformaciones durante el secado del consolidante ablandado.

- Adhesión de los fragmentos con Mowilith® DMC2 al 35% en agua destilada.

CONCLUSIONES

En el presente texto se han expuesto los resultados de la intervención de conservación-restauración del peine de cuerno procedente del pecio de la *Jeanne-Élisabeth*.

Se ha presentado una visión global del material, el cuerno de bóvido, estudiando su procedencia, constitución química y estructural, los usos para los cuales está documentado, sus formas de alteración y las características que pueden ser útiles para identificarlo. Así, hemos visto que el cuerno se encuentra raramente en contextos arqueológicos, debido a la alteración de la queratina en contacto con el agua y el calor.

Respecto a la intervención de conservación-restauración, la fase más interesante, y a su vez más problemática, fue la estabilización del objeto. Se realizó mediante un secado controlado con consolidación previa por inmersión en PEG400. Durante el proceso de secado se observaron deformaciones y una laminación severa que obligaron a rehidratar la pieza. El tratamiento fue redirigido aplicando un segundo consolidante y realizando un secado bajo contención.

El resultado final fue satisfactorio, ya que la pieza adquirió estabilidad en el ambiente seco, manteniendo sus dimensiones, su forma y con un aspecto de superficie, pensamos, parecido al original.

El conocimiento y el estudio de estos materiales poco frecuentes resulta una tarea imprescindible a la hora de identificarlos y de entender los procesos de degradación a los cuales han sido sometidos. También son esenciales para prevenir las posibles reacciones del objeto durante los tratamientos de conservación-restauración que sean propuestos.

A la hora de establecer un tratamiento, hemos comprobado la importancia de priorizar los que son reversibles o permiten una rectificación. En el caso del secado controlado, un tratamiento progresivo y lento hizo posible detectar a tiempo la necesidad de cambiar los parámetros del proceso. Esto no habría sido posible, por ejemplo, con tratamientos más rápidos como la liofilización. Cabe destacar también la importancia de estudiar y testar los materiales de conservación y los procesos antes de emprender tratamientos experimentales. En el presente caso, las pruebas que se realizaron sobre materiales sintéticos y sobre una muestra del mismo objeto fueron decisivas para prever los resultados.

En este sentido, quedan abiertas líneas de trabajo. Una de ellas sería la experimentación de métodos de estabilización de tejidos queratinosos y empapados de agua: en particular, sería interesante conocer las reacciones de estos materiales a la liofilización o al secado por cambio de solventes. También sería interesante abrir una vía de estudio sobre la identificación de los procesos y grados de degradación del cuerno con diferentes técnicas analíticas.

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a Sílvia Franch, directora de mi trabajo final, quien me alentó tanto. A todo el equipo de ARC-Nucléart y especialmente a Henri Bernard-Maugiron, mi tutor, a quien guardo un gran afecto. Al grupo WOAM (*Wet Organic Ar-*

chaological Materials) del ICOM, con quien compartimos nuestras inquietudes. A mis compañeras conservadoras-restauradoras que me inspiran tanto cada día, especialmente a Kusi Colonna-Preti, por compartir su amistad y su excelente espíritu científico, y a Júlia Chinchilla, maestra imprescindible, que me introdujo en el apasionante mundo de los materiales orgánicos empapados.

IMÁGENES

PORTADA Vista de una acción de restauración sobre el peine (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

1 Tipos de cuernos: **(a, b)** vaca; **(c, d)** rinoceronte; **(e, f)** jirafa; **(g)** antilope; **(h)** cévido (Ilustración extraída de FLORIAN, M.-L. *Protein Facts. Fibrous Proteins in Cultural Artifacts and Natural History Artifacts*. London: Archetype Publications, 2007, p. 28).

2 Cuernos de bóvidos: **(1)** núcleo óseo esponjoso **(2)** estuche córneo de queratina (Ilustración extraída de CASTELLÓ, J. R. *Bovids of the World: Antelopes, Gazelles, Cattle, Goats, Sheep, and Relatives*. Princeton (USA): Princeton University Press, 2016, p. 10).

3 Estructura jerárquica de la composición del cuerno (Ilustración extraída de TOMBOLATO, L. [et al.] "Microstructure, elastic properties and deformation mechanisms of horn keratin". *Acta Biomaterialia*. Vol. 6 (2010), p. 324. Disponible en línea en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19577667/> [Consulta: 8 mayo 2020]).

4 Vista al microscopio de los túbulos del cuerno: **(a)** sección transversal **(b)** sección longitudinal (Ilustración extraída de TOMBOLATO, L. [et al.] "Microstructure...", p. 323).

5 Imagen inicial del objeto después de la limpieza (Fotografías: Christophe Terpent / ARC-Nucléart).

6 Fotografía inicial después de la limpieza, con todos los elementos desprendidos (Fotografía: Christophe Terpent / ARC-Nucléart).

7 Espectro FTIR de la muestra analizada del peine (Gráfico: Thomas Guiblain / ARC-Nucléart).

8 Espectros FTIR de referencia de cuerno de diferentes especies animales: **(a)** rinoceronte, **(b)** vaca, **(c)** yak, **(d)** oveja (Gráfico extraído de SHENGQING, L.; ENDONGB, Z.; LIJUN, L. "Identification of Rhinoceros Horn and its Substitutes". *Advanced Materials Research*. Vol. 177 (2011), p. 638. Disponible en línea en: http://www.rhinoresourcecenter.com/pdf_files/129/1296167880.pdf [Consulta: 8 mayo 2020]).

9 Proceso de secado controlado (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

10 Estado del peine al llegar al 85% de humedad relativa (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

11 Estado del peine después de la rehidratación (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

12 Gráfica de evolución de la humedad relativa ambiental y el peso del objeto (Gráfico: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

13 Instrumento de contención para la recuperación de la forma (Fotografía: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

14 Objeto bajo contención (Fotografía: Christophe Terpent / ARC-Nucléart).

15 Pruebas de adherencia y aspecto superficial (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

16 Prueba de secado con consolidación previa de una púa (Fotografía: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

17 Proceso de impregnación en resina vinílica (Fotografía: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

18 Proceso de secado acelerado. Aplicación de aire y pesaje (Fotografías: Irene García Alonso / ARC-Nucléart).

19 Peine de cuerno al finalizar el tratamiento de conservación-restauración (Fotografías: Christophe Terpent / ARC-Nucléart).

BIBLIOGRAFÍA

BERNARD-MAUGIRON, H. [et al.] "La Jeanne-Élisabeth livre ses secrets: deux restaurations d'objets personnels issus d'une épave suédoise (XVIII^e siècle)" *Patrimoines du Sud*, n° 6 (2017), p. 118-131. Disponible en línea en: <<http://journals.openedition.org/pds/2181>> [Consulta: 8 mayo 2020].

CHAIX, L. "La corne, du néolithique à l'âge du bronze". En: BEAL, J.C.; GOYON, J.-C. *Des ivoires et des cornes dans les mondes anciens (Orient - Occident)*. París: De Boccard, 2000, p. 29-31. Disponible en línea en: <<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:106519>> [Consulta: 8 mayo 2020].

JAOUEN M. [et al.] "L'épave de la Jeanne-Élisabeth, 1755: 2008-2016 bilan de huit campagnes de fouille". *Archaeonautica*, n° 19 (2017), p. 41-86. Disponible en línea en: <<https://journals.openedition.org/archaeonautica/457>> [Consulta: 8 mayo 2020].

KRAUSZ, S. "L'exploitation artisanale de la corne de bovidés à l'époque gauloise: le témoignage des chevilles osseuses de corne de Levroux (Indre)". *Revue archéologique du Centre de la France*. Vol. 31 (1992), p. 41-55. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.3406/racf.1992.2666>> [Consulta: 8 mayo 2020].

KUNTZ, L.; ARGANT, T.; BELLON, C. "Un atelier de cornetier du premier âge du Fer à Lyon". En: BEAL, J.C.; GOYON, J.-C. *Des ivoires et des cornes dans les mondes anciens (Orient - Occident)*. París: De Boccard, 2000, p. 67-74. Disponible en línea en: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02090526/>> [Consulta: 8 mayo 2020].

MINNESOTA HISTORICAL SOCIETY. *Quills, Horn, Hair, Feathers, Claws, and Baleen Found in Such Items as Clothing Ornaments, Jewellery, and Containers* [En línea]. <http://www.mnhs.org/preserve/conservation/connectingmn/docs_pdfs/repurposedbook-quills_000.pdf> [Consulta: 8 mayo 2020].

PARIS C.; LECOMTE, S.; COUPRY, C. "ATR-FTIR spectroscopy as a way to identify natural protein-based materials, tortoiseshell and horn, from their protein-based imitation, galalith". *Spectrochimica Acta (Part A)*. Vol. 62 (2005), p. 532-538. Disponible en línea en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16257757/>> [Consulta: 8 mayo 2020].

SHENGQING, L.; ENDONGB, Z.; LIJUN, L. "Identification of Rhinoceros Horn and its Substitutes". *Advanced Materials Research*. Vol. 177 (2011), p. 636-639. Disponible en línea en: <http://www.rhinosourcecenter.com/pdf_files/129/1296167880.pdf> [Consulta: 8 mayo 2020].