

IDONEIDAD DE LOS ACTUALES ESTUCOS TRADICIONALES EMPLEADOS EN LA REINTEGRACIÓN VOLUMÉTRICA DE MATERIALES ÓSEOS

Begoña Carrascosa Moliner y M^a Amparo Linares Soriano
Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València

AUTOR DE CONTACTO: Begoña Carrascosa Moliner, becarmo@crbc.upv.es

RESUMEN: *En la restauración de materiales óseos prevalece el principio de mínima intervención, no obstante, cuando las piezas presentan problemas de estabilidad estructural se lleva a cabo la restitución de faltantes. Desafortunadamente, se emplean en este tratamiento masillas de relleno que son consideradas idóneas para la reintegración de cerámicas arqueológicas.*

Este trabajo se centra en el estudio comparativo del comportamiento físico-mecánico de los dos materiales más empleados en la reintegración volumétrica de este tipo de material orgánico. Entre los estucos seleccionados, destacamos los elaborados a partir de yesos de diferentes durezas, y los estucos en base a cera, por ser éstos los más recurrentes en este tipo de tratamiento.

A tal objeto, se evalúa la idoneidad de estos materiales mediante el testado de su comportamiento a través de distintos ensayos de laboratorio para comprobar los cambios experimentados con el fin de seleccionar el material que se adapte a las propiedades intrínsecas del original, puesto que el paso del tiempo afecta tanto a la estabilidad de la pieza como a los productos empleados en su intervención.

PALABRAS CLAVE: reintegración, laguna, estuco, masilla, hueso, óseo, arqueológico, escayola, cera, restauración.

1. INTRODUCCIÓN

Las intervenciones realizadas sobre materiales y objetos arqueológicos deben respetar las premisas básicas establecidas en restauración de Bienes Culturales¹ por ello, en cuanto a materiales óseos se refiere, se debe asegurar la preservación de su valor documental, mantener su integridad física y comprensión estética e histórica, evitando los añadidos innecesarios, limitando los tratamientos de conservación y restauración de material óseo a la estabilización de la pieza, siendo los más frecuentes: limpieza, consolidación y montaje de fragmentos.

A pesar de que los restos óseos aparecen en segundo lugar con mayor frecuencia en los contextos arqueológicos, aparentemente existe una pasividad en los criterios o premisas de actuación, concretamente en la restitución de faltantes. No obstante encontramos textos que nos hablan de los procesos de alteración y del comportamiento que mantienen ante los parámetros ambientales (Bouzas y Laborde, 2003), las medidas urgentes de conservación (Porto, 2000) para la estabilidad del material, así como los requisitos y factores (penetración, contracción, compatibilidad con el objeto, reversibilidad, coloración, brillo...) que deben cumplir las masillas para la idoneidad con los materiales originales (Laborde, 1986; Matteni, 2001).

En la restauración de materiales óseos, incuestionablemente prevalece el principio de mínima intervención, no obstante la decisión de realizar la reintegración volumétrica depende de la ubicación o función final que se le dé al objeto, es decir si va destinada a la investigación y depósito, o en exhibición en museos, exposiciones itinerantes (Baeza, 2009) en este último grupo se realizan reintegraciones cuando las piezas presentan problemas de estabilidad estructural. Los estucos nacen por la necesidad de rellenar de manera estable los faltantes matéricos como consecuencia de los diversos procesos de alteración. (Matteni, 2001)

La decisión de proceder con la reintegración volumétrica no es la única dificultad que presenta la intervención del material óseo, a este factor se le suman en primer lugar la sensibilidad que presentan estos materiales a la humedad, por su higroscopicidad y anisotropía, seguido de la elección de la masilla de relleno/ estuco idóneo que cumpla con la mayoría de requisitos que se les exigen y que no ocasione posteriores patologías sobre la obra.

Como se ha dicho anteriormente, la reintegración volumétrica sólo se lleva a cabo por motivos de conservación, cuando las piezas presenten problemas de estabilidad estructural para devolver la resistencia mecánica. Por lo que resulta incoherente, la variedad de productos que se emplean para estos fines como: yesos odontológicos y escayolas reforzadas con resinas acrílicas, Archeostucco Integrante I76 per Archeologia, resinas acrílicas tipo Acril® AC-33, Mowital® con cargas, resinas epoxi -Araldit Madera® o masillas comerciales tipo: Modostuc®, Polyfilla Interior®. De hecho hoy en día se realizan numerosas sustituciones de estucados impropriadamente realizados en el pasado.

Este listado de productos, posiblemente se ha ido empleando por sistema en los talleres de restauración sobre materiales óseos al ser considerados idóneos para la reintegración de cerámicas. Si sumamos las características de higroscopicidad y anisotropía de estos materiales orgánicos, su sensibilidad a la humedad, fragilidad, con los casos de las reposiciones realizadas que requieren de eliminación o sustitución, con el principio de reversibilidad, obtendríamos una lista muy reducida.

De todos los materiales de relleno anteriormente citados, el estuco tradicional es el yeso sin añadir pigmentos en la preparación para indicar las partes añadidas (Brothwell, 1981), actualmente se siguen empleando los yesos dentales reforzados con resinas acrílicas en mulsión acuosa con una posterior reintegración cromática (Morales, 2004; Fenoll, 2009). De las sustituciones de estucados en yeso

realizados en el pasado, el material más empleado en los talleres como suplente/sustituto es el estuco de cera I76 compuesto por yeso blanco 40%, óxido de zinc 32%, parafina 13%, cera blanca de abeja 13% y resina de colofonia 2% y pigmentos, estuco destinado a la reintegración de cerámica griega por su fragilidad, reversibilidad y posibilidad de rehacer parcialmente en caso de craqueladura o desprendimiento (Meluco et al., 1989).

2. OBJETIVO

Se plantea este estudio a partir de la diversidad de los estucos empleados y la alta sensibilidad que éste material orgánico muestra ante la humedad, el estudio se centra en el comportamiento de las masillas empleadas en la reintegración volumétrica o formal de material óseo, entendida como acción restaurativa con objeto de recuperación de la continuidad estructural (Calvo, 2002).

La finalidad del estudio es comprobar la idoneidad de los materiales más empleados en la reintegración de lagunas en materiales óseos, simulando los agentes de degradación más importantes que afectan a éstos antes de su aplicación al original para evitar futuros inconvenientes, poder seleccionar el material que se adapte a las propiedades intrínsecas del original, o descartar definitivamente el empleo de los materiales ensayados.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el trabajo han sido seleccionados los estucos tradicionales, de yeso Alamo 70 (A1 70) y Alamo 70 reforzado con Acril 33® (A170+AC33) y el estuco de cera I76 (I76), por ser estos los materiales más frecuentemente utilizados en las reposiciones volumétricas.

Para comprobar si los estucos seleccionados, cumplen con los requisitos exigidos de idoneidad y atendiendo a las características del material óseo, se decidió en primer lugar someterlos a ensayos de envejecimiento artificial acelerado ultravioleta y de humidificación y secado. Por otra parte, también se han realizado los siguientes ensayos hídricos: determinación del ángulo de contacto estático, determinación de la absorción de agua a presión atmosférica y determinación de la absorción de agua por capilaridad y permeabilidad al vapor de agua, al ser el agua, el primordial causante en las alteraciones de los materiales orgánicos.

Entre los requerimientos que principalmente debe presentar un estuco se mencionan; tener una menor resistencia y ser reversible e inocuo al material original (Bouzas, 2003), del resto de los requisitos que se le exigen al comportamiento de un buen estuco nos centraremos en los siguientes:

- Estabilidad frente a la acción de los agentes de deterioro ambiental (luz, humedad, temperatura) y el biodeterioro.
 - Correcta adhesión entre la masilla y el hueso (agrietamiento, desprendimiento)
 - Ausencia de cambios cromáticos.
- Compatibilidad con los materiales constituyentes de la pieza :
 - Porosidad: no debe obstaculizar los intercambios con el ambiente externo.
- Reversibilidad y compatibilidad: Debe eliminarse sin dañar la estructura original, sin dejar restos ni alterar la zona de fractura.

3.1 Criterios y metodología de trabajo

Como se ha indicado anteriormente, con objeto de comprobar la adaptabilidad de los estucos seleccionados a las necesidades del material óseo se ha establecido la siguiente metodología.

3.1.1 Envejecimiento artificial acelerado

Los ensayos, simulaciones de parámetros ambientales (luz / humedad-temperatura) se han realizado de forma independiente,

sometiendo a envejecimiento tres muestras de cada, en las distintas cámaras. El envejecimiento acelerado presenta limitaciones, ya que en la degradación natural los factores de luz, humedad y temperatura actúan de forma conjunta.

Como objetivo, se pretende provocar los mismos efectos que produce la degradación natural, pero en un corto periodo de tiempo.

Las distintas series de probetas seleccionadas y realizadas con los estucos tradicionales: A170, A170+AC33 e I76, han sido sometidas a un estudio del comportamiento de variación cromática para garantizar la estabilidad del material reintegrante, mediante espectrofotometría visible y colorimetría, antes y después de los ensayos de envejecimiento acelerado por irradiación de luz ultravioleta.

Para los ensayos se han elaborado una serie de 3 probetas por cada estuco, compuestas por material original adherido al material reintegrante. Las medidas seleccionadas han sido 2 x 4, variando el grosor 0,5 – 1,2 cm dependiendo del fragmento óseo.

3.1.1.1 Envejecimiento artificial acelerado ultravioleta

Los efectos de las radiaciones lumínicas es otro de los factores de degradación que afecta a la conservación de materiales óseos, estos elementos son considerablemente sensibles a la luz, a pesar de la pérdida del color que conlleva la exposición lumínica, ésta puede provocar también que los materiales se vuelvan quebradizos y frágiles.

Otro de los requisitos que se le debe exigir a un buen reintegrante es la ausencia de cambios cromáticos. Con el propósito de comprobar la resistencia de las masillas y el material óseo a la luz artificial de lámparas ultravioleta², se han sometido a las probetas a un total de 240 horas de exposición continuada a una radiación con un máximo a 351nm.

Para estimar los cambios cromáticos, se ha empleado la espectrofotometría visible/Colorimetría con objeto de valorar cuantitativamente cual es el más idóneo en cuanto a la previsión de su resistencia cromática con el paso del tiempo.

Las mediciones de color realizadas han sido 2, una medición previa y otra tras el envejecimiento, efectuadas con un espectrofotómetro Minolta CM-2600d, los datos³ se tomaron con componente especular incluida (SCI), y con componente especular excluida (SCE). Al no apreciarse diferencias entre SCI y SCE, se decidió trabajar con los valores con brillo (SCI). En cuanto a los espacios de color se han utilizado los perceptivos CIELAB y CIELCH,

Para evaluar los resultados se empleó el parámetro de diferencia de color (ΔE_{ab}^*), el cálculo de los resultados se han basado en los datos aportados por Melgosa, que califica como diferencia de color “supraumbral” a aquella en torno a 1,75 unidades CIELAB, (Melgosa, 2001).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Siendo:

$$\Delta L^* = L^* \text{ final} - L^* \text{ inicial}$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ final} - a^* \text{ inicial}$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ final} - b^* \text{ inicial}$$

Con el fin de asegurar una exacta colocación del medidor tras los envejecimientos, se confeccionó una plantilla en acetato estándar para todas las probetas, y sobre cada uno de los puntos seleccionados se efectuaron tres disparos consecutivos, a partir de ellas se calcula su media y desviación estándar.

Queremos dejar constancia de que la superficie a medir presentaba curvaturas de pequeño radio, asumiendo los errores que esto conllevaría.

3.1.1.2 Humidificación y secado

Una de las causas de degradación más común en estos materiales orgánicos es la reacción a las oscilaciones de humedad y temperatura, al tener la capacidad de absorber y ceder humedad a la atmósfera según las condiciones climáticas, estos materiales pueden llegar a sufrir deformaciones al intentar contrarrestar estas fluctuaciones. A tal fin, se han reproducido 3 probetas para cada serie de estuco adherido a fragmentos óseos, exponiéndolos a situaciones extremas, con el propósito de simular las tensiones generadas por el hueso en combinación con las diferentes masillas añadidas en la reintegración volumétrica, y poder comprobar así, si hay una buena adherencia entre ambos elementos.

Teniendo en cuenta los parámetros recomendados para la conservación de estos materiales 25°C y 45-65% HR, se han establecido para el ensayo en desecador de vidrio, ciclos repetidos con temperatura constante:

- Humidificación 90% HR 25°C 24 h
- Secado 17% HR 25°C 24 h
- Humidificación 90% HR 25°C 24 h
- Secado 17% HR 25°C 24 h
- Humidificación 90% HR 25°C 72 h
- Secado 17% HR 25°C 72 h

Una vez finalizado el último ciclo de secado las probetas han sido conservadas en el desecador cerrado/hermético (sin ventilación) durante 30 días.

3.1.2. Ensayos hídricos

Como se ha comentado anteriormente el agua es uno de los agentes de degradación más importantes que alteran a los materiales orgánicos, afectando tanto a la disminución de las propiedades mecánicas, como a la proliferación de microorganismos (Ontiveros, 2006)

3.1.2.1. Determinación del ángulo de contacto estático

La tensión superficial depende del material de la superficie donde se aplica el líquido, el procedimiento a seguir para determinar si el estuco presenta repelencia al agua, se ha llevado a cabo según el procedimiento de ensayo y acondicionamiento de las probetas (UNE-EN 15802:2009).

Para tal ensayo se han destinado 3 probetas de 4 x 4 x 2 cm para cada estuco.

El límite establecido para calcular el grado de hidrorrepelencia de la superficie es 90°, si el ángulo Θ es menor de 90°, el líquido moja a la superficie presentando un comportamiento hidrófilo, mientras si es igual o superior a 90° es hidrófuga al no mojar la superficie (END, 2002).

El ángulo de contacto se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$\Theta = 2 \arctg \frac{2h}{d}$$

Siendo:

d diámetro de la superficie de contacto en mm

h es la altura en mm

Θ es el ángulo de contacto estático en grados

Las gotas han sido depositadas con una micro-pipeta de 10 μ l, realizando 5 repeticiones por probeta.

3.1.2.2 Permeabilidad al vapor de agua

La determinación de la permeabilidad al vapor de agua, es otro de los estudios que se han realizado a los estucos sometidos a análisis,

el principio de este ensayo es la determinación de la transferencia de vapor de agua a través de una probeta sometida a diferentes presiones parciales de vapor de agua (UNE-EN 15803)

Las condiciones ambientales de ensayo seleccionadas ha sido el sistema de "cubeta húmeda" con una solución salina de Nitrato potásico KNO_3 saturada.

El ensayo ha sido realizado en las siguientes condiciones: temperatura 23 \pm -1°C, humedad relativa interna (93 \pm -3%) y externa 50 \pm -3 %.

Al igual que en el resto de ensayos se han destinado 3 probetas cilíndricas de 3,6 cm de diámetro y 1,8 de espesor, para cada serie.

3.1.2.3. Determinación de la absorción de agua por capilaridad

El agua afecta tanto a la estabilidad del hueso como a los productos empleados en su intervención, siendo responsable directo de la disminución de las propiedades mecánicas y de la proliferación de microorganismos. Con el propósito de determinar la cantidad de absorción de agua por capilaridad en los estucos en función del tiempo de contacto, se han acondicionado las probetas y se ha procedido al ensayo según la norma EN 15801:2009, seleccionando para tal fin 3 probetas de cada serie de 20 x 20 x 20 mm. La duración total de 7 días. Modificaciones realizadas:

- Las probetas I76 no han sido secadas a 60 \pm 5 °C, por la sensibilidad al calor que presentan.
- los resultados Q_i son expresados en g/cm^2 en lugar de kg/m^2 , por las dimensiones y masa de las probetas.

El coeficiente de absorción de agua por capilaridad (AC) es la pendiente de la parte lineal de la curva obtenida representando la variación de masa por unidad de superficie (Q_i) en función de la raíz cuadrada del tiempo ($t^{1/2}$).

La cantidad de agua absorbida por la probeta por unidad de superficie Q_i (g/cm^2) en el tiempo (s) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_i = [(m_i - m_o) / A]$$

Q_i es la absorción de agua a presión atmosférica expresado en % (contenido de humedad de saturación)

m_o es la masa de la probeta en seco (g)

m_i es la masa de la probeta en el tiempo t_i (g)

A superficie de la probeta en contacto con el agua cm^2

Han sido incorporados al ensayo fragmentos óseos con objeto de comparar la capacidad de absorción de agua por capilaridad del original, y si presenta un comportamiento similar a los materiales que se les adhieren. Los resultados son orientativos puesto que el tamaño de los fragmentos óseos no es el mismo que las probetas.

3.1.2.4 Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica

El contenido de humedad de saturación (%) es la relación entre el peso de agua contenida en los espacios vacíos de una muestra completamente saturada y el peso de la muestra seca.

Representa el volumen de agua que se aloja en el sistema poroso de un material después de estar en inmersión libre en agua a presión atmosférica durante un tiempo determinado.

Depende de la estructura de los poros, el volumen de espacios vacíos y el grado de conectividad; por lo que proporciona una aproximación de la capacidad de absorción de agua de un material, en este caso, de los estucos AL70, AL70+AC33 e I76.

La preparación de las probetas y el procedimiento de ensayo ha sido realizado según EN 13755:2008, con las siguientes modificaciones:

- Se han destinado 3 probetas de cada estuco al tratarse de masillas elaboradas bajo las mismas condiciones y proporciones.

- El tamaño de las probetas es de 40 x 40 x 20 mm al ser estucos destinados a reintegración de lagunas de pequeño y medio formato.
 - Las probetas I76 no han sido secadas a $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, por la sensibilidad al calor que presentan.

La absorción de agua a presión atmosférica A_b de cada probeta se calcula por medio de la ecuación:

$$A_b = (m_s - m_d) / m_d \cdot 100$$

A_b es la absorción de agua a presión atmosférica expresado en % (contenido de humedad de saturación)
 m_s es la masa de la muestra saturada en agua (gr)
 m_d es la masa de la muestra seca (gr)

Este ensayo también ha sido realizado con fragmentos óseos con objeto de comparar la capacidad de absorción. Los resultados son orientativos puesto que el tamaño no es el mismo que las probetas.

4. RESULTADOS

Las tablas y gráficos que a continuación se muestran, reflejan los valores medios y la desviación estándar, obtenidas del conjunto de las tres probetas de cada serie, con el fin de facilitar la legibilidad en el gráfico.

		Claridad ΔL^*	Variación $\Delta AE^* ab$	Croma ΔC^*	Tono Δh°
ESTUCO	I76	-2,86	13,31	12,90	3,60
	AL70	2,11	2,22	-0,62	2,83
	AL70 33	2,54	2,57	-0,28	3,33
HUESO	I76 A	5,3	9,70	-8,1	1,4
	I76 B	8,06	11,57	-8,18	3,14
	AL70 A	7,8	11,7	-8,5	4,1
	AL70 B	2,58	4,81	-4,05	1,02
	AL70 33 C	6,18	9,4	-7,0	3,15

Tabla 1. Resultado tras el cálculo de diferencias de SCI antes y después

4.1 Envejecimiento artificial acelerado

4.1.1 Envejecimiento artificial acelerado ultravioleta

Con el propósito de verificar la resistencia de las masillas y el material óseo, a la luz artificial de lámparas ultravioleta, se han sometido las probetas a una exposición continuada de radiación durante 240 horas con un máximo a 351nm.

Obteniéndose así los siguientes resultados colorimétricos:

En primer lugar se procede a comentar los cambios producidos en los estucos.

Considerando como diferencia de color "supraumbra" a aquella en torno a 1.75 - 2 unidades CIELAB, destacar que en la serie I76 se generan los cambios más perceptibles, ya que los valores de variación de color total ($\Delta E^* ab$) oscilan entre 12 y 14 unidades CIELAB, también puntualizar que es el único estuco donde se produce un oscurecimiento y un considerable aumento cromático. Las series AL70 y AL70+AC33 tienen un comportamiento similar, se mantienen en el límite de la percepción visible, los cambios producidos por variación de color total ($\Delta E^* ab$) oscilan entre 1 y 3



Figura 1. Detalle de la zona de unión hueso-estuco antes y después del envejecimiento artificial acelerado Ultravioleta. Izquierda probeta I76 B. Derecha probeta AL70+AC33 B

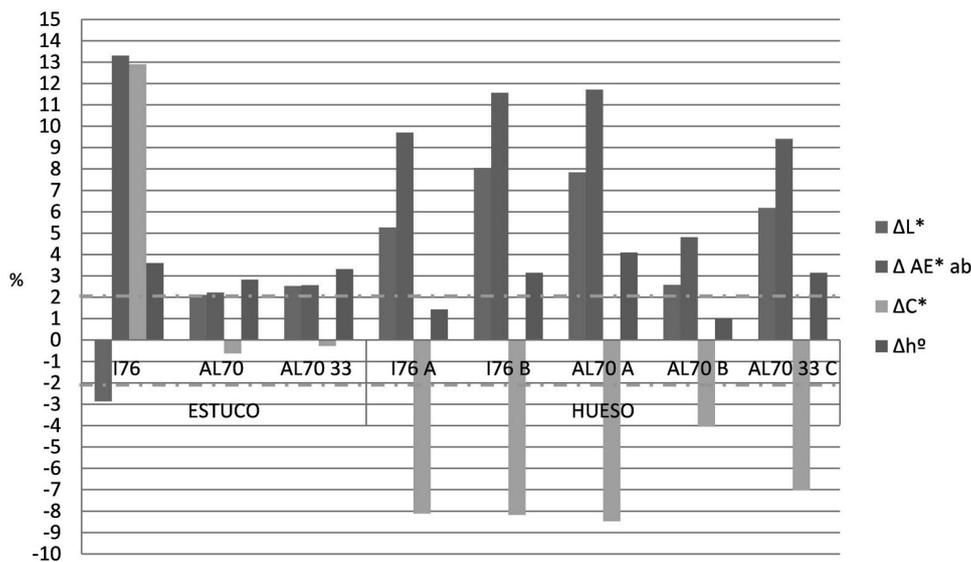


Gráfico 1. Representación de los Incrementos L*, E*, C* y h° tras ensayo de envejecimiento artificial acelerado U.V.

unidades CIELAB, al contrario que el estuco de cera estas sufren una ligera variación en luminosidad, traducido en un blanqueamiento de la superficie, siendo la masilla tradicional A170 la que menos variaciones presenta frente al envejecimiento. (Gráfico 1 y Tabla 1)

Respecto al tono (h°), comentar que los cambios son muy leves, exceptuando la serie I76 que experimenta un desplazamiento considerable del naranja-amarillo al amarillo-anaranjado.

En lo que concierne al comportamiento del material óseo todos los cambios son más que perceptibles, comprobamos que en la mayoría de los casos presentan un comportamiento similar al estuco I76 en cuanto al cambio producido en la variación de color total ($\Delta E^* ab$) oscilando entre 4 y 12 unidades CIELAB, no obstante respecto a los cambios producidos en los estucos A170 y A170+AC33, las variaciones experimentadas en la luminosidad son más acusadas con valores entre 2,5 y 8 unidades, traducido en un blanqueamiento del material óseo. En relación a la variación cromática comentar que se vuelven menos cromáticos como se aprecia en la figura 1. Por último, respecto a las variaciones tonales comentar que en la mayoría de los casos sufren un mínimo desplazamiento hacia el amarillo-anaranjado.

Además de la colorimetría, nos hemos apoyado de la fotografía mediante microscopía óptica para estimar los cambios físico-mecánicos y cromáticos visibles.

Los datos reflejados en el gráfico 1, se ven reforzados por la figura 1 donde se aprecia la inestabilidad del estuco de cera frente al envejecimiento, se observa como la resina empleada en el estuco tiende a migrar hacia el exterior, modificando tanto la textura como el color. (Fig.1)

Conjuntamente apreciamos los problemas producidos de adhesividad entre el original y el estuco, se aprecian fisuras en el anverso y reverso de las probetas como en I76 B. Este comportamiento también es evidente en las probetas realizadas con A170, pero en menor grado, como por ejemplo A170+AC33 B.

4.1.2 Humidificación y secado.

Durante la realización de los ciclos de humidificación y secado referenciados en el apartado 3.1.1.2, se han ido registrando las pesadas obtenidas. Se constata la capacidad de absorción y cesión de humedad que tienen las distintas probetas debido a la diversidad en su composición y como consecuencia de la necesidad de readaptarse a las nuevas condiciones ambientales, hasta llegar a mantener el equilibrio con el medio que les rodea.

Para evaluar el comportamiento físico-mecánico, se realizaron fotografías en la zona de unión y se acotaron las probetas; tras el ensayo no se han observado cambios estructurales o separación por la zona de contacto entre la masilla y el hueso excepto en la probeta A170-A, que presenta indicios de fracturación durante el 2º ciclo de secado. (Fig. 2)

Durante los 30 días sin gel de sílice ni agua en la base del desecador, se observa que se ha generado una proliferación de microorganismos en el estuco de cera, contaminando todas las probetas de alrededor. Las zonas de mayor concentración de microorganismos coinciden con la zona de unión entre el material original y el estuco en todas las probetas de la serie I76 al ser éste un estuco impermeable (como se observa en los gráficos de ensayos hídricos) posiblemente no permita la evaporación completa de la humedad del material óseo, produciendo una estancamiento en su interior, como se puede ver en la figura 2 detalle derecha.

Ante esta situación obtenemos como resultado:

- La inestabilidad del estuco de cera al biodeterioro, favoreciendo su proliferación por los materiales orgánicos de su composición.
- La incompatibilidad con la porosidad del material óseo, al obstaculizar los intercambios con el ambiente externo.

4. 2 Ensayos hídricos

4.2.1. Determinación del ángulo de contacto estático.

Durante el ensayo expuesto en el apartado 3.1.2.1, no se ha podido realizar la medición de las gotas depositadas en las probetas A170 y A170+AC33, al absorberse antes de 10 segundos ni sobre el material óseo al perder el 50% de su volumen antes de los 10 segundos, por el contrario el estuco de cera presentan una alta tensión superficial o repelencia al agua, los ángulos formados oscilan entre 100° y 115° , trascurriendo una media de 1.753,2 segundos desde que entra en contacto la gota con la superficie hasta la absorción de la misma.

4.2.2. Permeabilidad al vapor de agua.

Para comprobar si el estuco ensayado permite el paso del agua a través de la estructura capilar nos centraremos en las variaciones de masa en función del tiempo. (Gráfico 2. Tabla 2.)

Los resultados obtenidos son similares al resto de ensayos hídricos, en primer lugar observamos que las masillas tradicionales de escayola permiten la penetración de agua tanto si se emplea un estrato intermedio o se aplica en su preparación resinas acrílicas en emulsión acuosa, hecho que puede favorecer los intercambios que constantemente mantiene el material óseo con el ambiente circundante por sus características intrínsecas de higroscopicidad y anisotropía, propiedades que debe respetar en la medida de lo posible el material reintegrante (Matteni, 2001). En cambio el estuco de cera actúa como aislante/ impermeabilizante, no permitiendo la penetración de agua existente en el interior.

4.2.3. Determinación de la absorción de agua por capilaridad.

En la curva de absorción capilar, se representa el incremento de peso por superficie en función de la raíz cuadrada del tiempo, sucede lo mismo que en el de inmersión, la serie I76 no presenta variación alguna. Por otra parte, la progresión de masa de agua absorbida es más lenta en la serie A170 +AC33 a pesar de que al final del ensayo le corresponden los contenidos de agua máximos.

En cambio los fragmentos óseos son los únicos que presentan un comportamiento lineal en la primera parte de la curva hasta los 5 minutos, la capacidad de absorción depende con el tipo de fragmento, en conjunto podemos decir que una vez saturados van cediendo rápidamente en busca del equilibrio con el ambiente. (Gráfico 3 y Tabla 3)

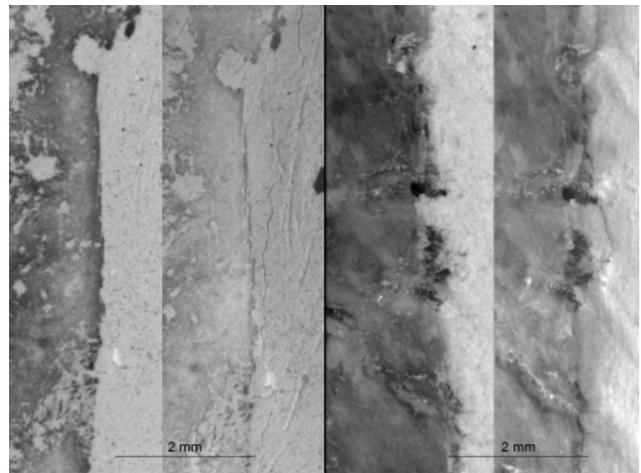


Figura 2. Fotografía después de los ciclos de humidificación y secado en desecador de vidrio. Derecha detalle de fractura en A170-A. Izquierda detalle de microorganismos en I76.

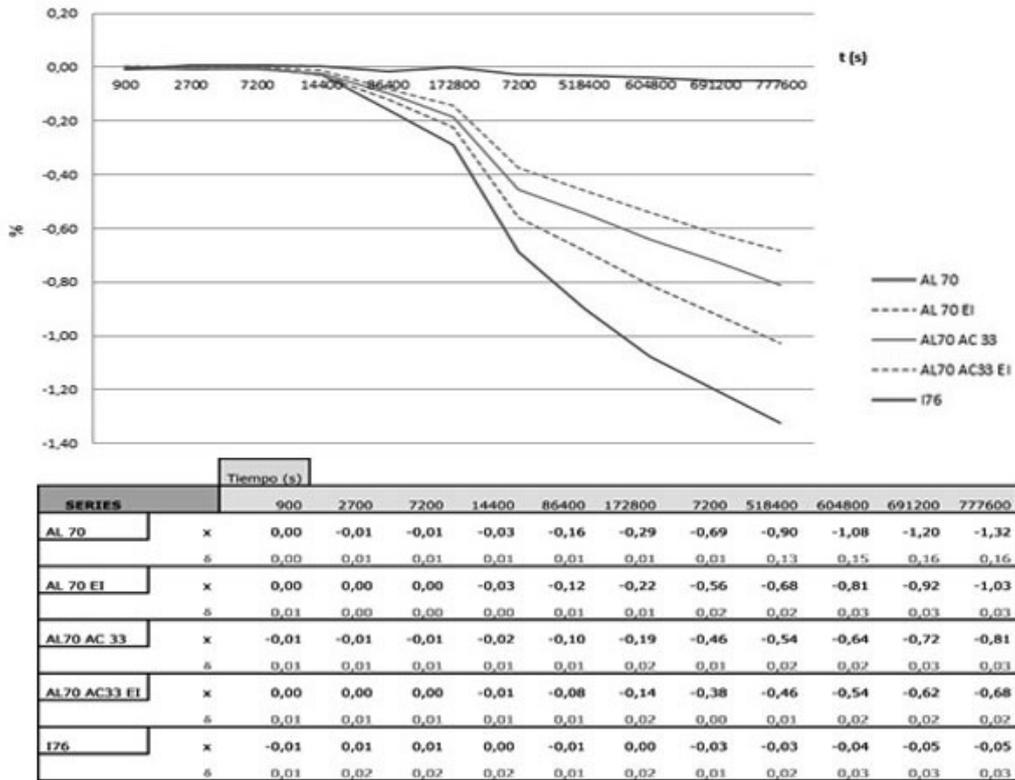


Gráfico 2. Tabla 2. Resultados de la variación de masa del conjunto de probetas, permeabilidad al vapor de agua.

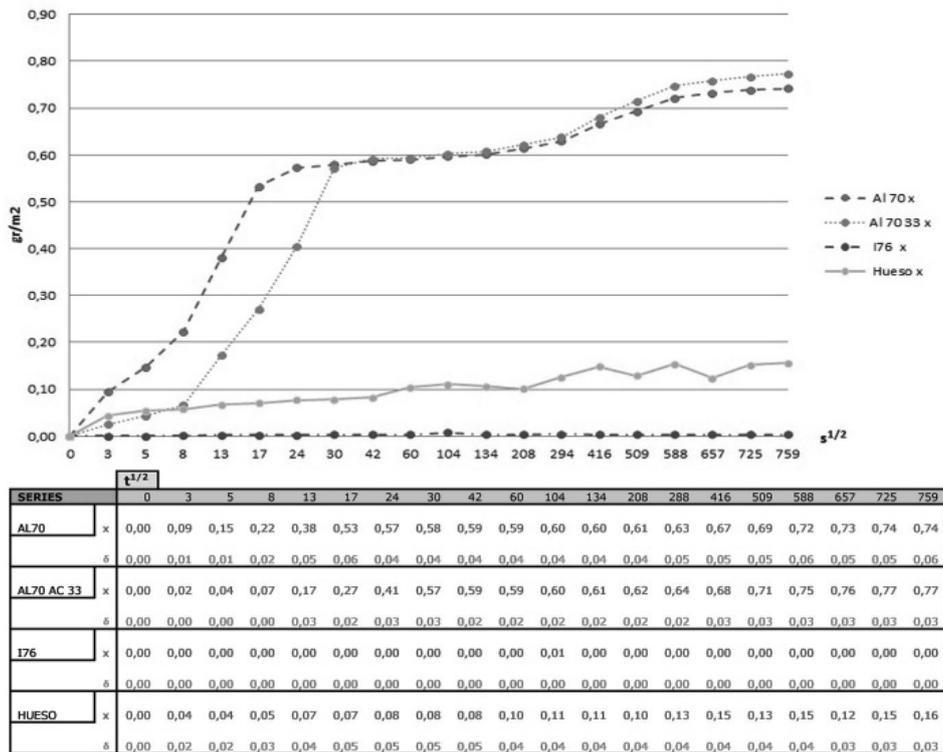


Gráfico 3. Tabla 3. Representación curvas de capilaridad de la serie de estucos AL 70, AL70+AC33, I76 y material óseo.

4.2.4. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

Los resultados obtenidos tras el ensayo, confirman la inexistente porosidad del estuco de cera I76, comprobándose las variaciones mínimas de masa que experimenta la probeta después de 8 días en inmersión. (Gráfico 4. Tabla 4.)

Por el contrario se ve un gran aumento en las masillas elaboradas con Al 70, alcanzando valores entre el 24 – 28%, la diferencia de incorporar una resina acrílica en dispersión acuosa no supone una variación significativa en la capacidad de absorción, ambas presentan un considerable volumen poroso intercomunicado, considerando que tras 18 días de inmersión no alcanzan la saturación.

En el gráfico 4 podemos comparar los estucos ensayados con el comportamiento reflejado del material óseo en inmersión total durante 5 días, comprobando que no tienen una absorción progresiva como los estucos ensayados. Éstos durante la primera hora alcanzan prácticamente la saturación, apreciándose con posterioridad fluctuaciones constantes en busca del equilibrio.

5. CONCLUSIONES

Todas las actuaciones y materiales que se aplican en las diferentes fases de la restauración ósea, alteran su interacción normal con el ambiente, pudiendo generar problemas de estabilidad con el paso del tiempo.

Una de las problemáticas que presentan los estucos de yeso es el aporte de humedad al hueso durante la aplicación de éste, pese a utilizar un estrato intermedio, se observa por el cambio de color que estos se adhieren periféricamente a las estructuras originales, asimismo también pueden generar manchas de difícil eliminación. No obstante, pese a ser un material muy estable, el yeso presenta problemas de adhesión al verse fracturas y fisuras en la zona de

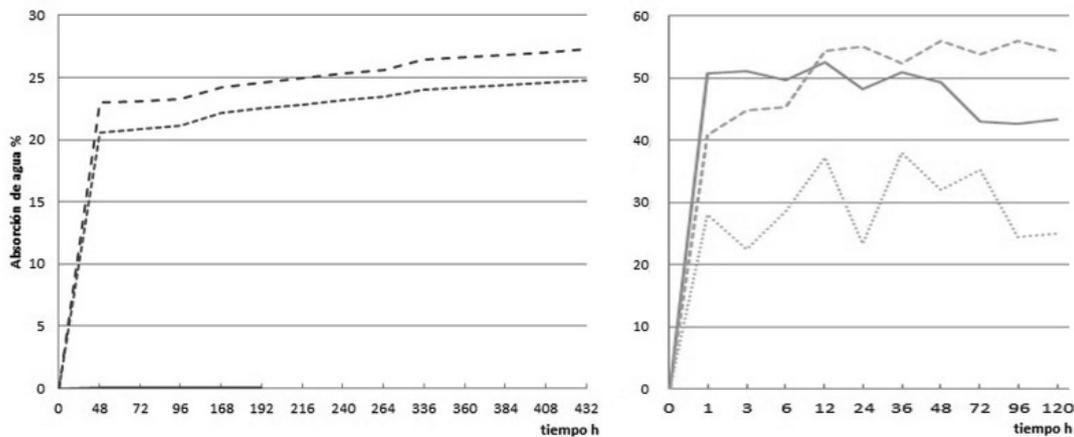
unión tras los ensayos de envejecimiento artificial acelerado, como consecuencia de las tensiones que se generan, originadas por las variaciones dimensionales causadas por los factores ambientales.

Con respecto al estuco de cera, podemos resaltar el comportamiento que ha presentado ante los distintos ensayos de envejecimiento artificial acelerado, indicando que es un reintegrante con una conducta bastante inestable, tras el ensayo de envejecimiento artificial acelerado ultravioleta se puede observar que este estuco sufre un cambio cromático considerable en un corto periodo de exposición. También ha de tenerse en cuenta que este tipo de estuco es altamente sensible al calor, además de presentar problemas de adherencia al material original, como se verifica en la adhesión de lagunas véase Fig.1, demostrando así que presentan también problemáticas similares a los estucos de yeso (fisuras, desprendimientos).

Un hecho altamente alarmante y que hay que considerar si se decide su empleo, es que este tipo de masillas son vulnerables al biodeterioro, en condiciones de elevada humedad y poca ventilación, favoreciendo la proliferación de microorganismos sobre su superficie.

Los resultados de comportamiento que ambos estucos han experimentado durante las pruebas de reversibilidad, han demostrado que estos no son del todo reversibles, ya que en el testado realizado para la eliminación mecánica, tanto un estuco como el otro dejan restos de masillas en las partes internas, especialmente en las zonas cercanas al hueso esponjoso, arrastrando parte del original en la zona de fractura.

Hasta el momento el estuco de cera se ha considerado como un reintegrante idóneo en este tipo de intervenciones, ya que no aporta humedad al original, al ser un material hidrorrepelente, pero hemos ser conscientes, que ello puede llegar a producir estanqueidad de la humedad en el interior del hueso, al evitar los intercambios de humedad que experimenta el material óseo con el ambiente externo



		Tiempo (horas)													
SERIE	ESTUCOS	0	48	72	96	168	192	216	240	264	336	360	384	408	432
ALAMO 70	x	0,00	23,03	23,1	23,3	24,2	24,6	24,9	25,3	25,6	26,4	26,7	26,8	27	27,2
	δ	0,00	0,929	0,95	0,99	1,06	1,08	1,07	1,13	1,09	1,13	1,09	1,11	1,12	1,23
AL 70 + AC33 15%	x	0,00	20,61	20,8	21,1	22,1	22,5	22,8	23,2	23,4	24	24,2	24,4	24,5	24,7
	δ	0,00	0,674	0,61	0,63	0,55	0,53	0,54	0,51	0,5	0,63	0,52	0,5	0,52	0,51
I76	x	0,00	0,068	0,09	0,09	0,08	0,08								
	δ	0,00	0,021	0,03	0,03	0,01	0,03								
PROBETAS HUESO		0	1	3	6	12	24	36	48	72	96	120			
H-A1		0,00	50,77	51,12	49,70	52,54	48,17	50,89	49,35	42,96	42,60	43,31			
H-B2		0,00	40,77	44,84	45,32	54,32	55,04	52,40	56,00	53,84	56,00	54,44			
H-C2		0,00	28,02	22,52	28,56	37,18	23,28	37,93	32,00	35,24	24,46	25,00			

Gráfico 4. Tabla 4. Derecha: Representación curvas de absorción de agua a presión atmosférica de la serie de estucos AL 70, AL70+AC33, I76. Izquierda: Representación curvas de absorción de agua a presión atmosférica de material óseo.

en su busca del equilibrio, aspecto a favor que permite en mayor grado el estuco de yeso.

Por todo ello, queremos concluir que tras el estudio realizado a los dos materiales reintegrantes más empleados en la restauración de material óseo, ninguno de estos pueden considerarse como estucos idóneos y afines al material original, ya que tanto uno como el otro pueden desencadenar y provocar nuevos daños y patologías en las estructuras originales.

NOTAS

¹ Decálogo de la Restauración - Criterios de intervención en Bienes Culturales

² Cámara QUV-Basic con una lámpara UV UVA-351 (Q-Grupo Laboratorio de Productos)

³ Condiciones de medida seleccionadas: iluminante estándar CIE tipo D65 (luz día, temperatura de color 6500° K) y el observador estándar 10° (KONICA MINOLTA SENSING, Inc.) ; El área de medida 8mm Ø (MAGNUM). Los datos han sido tomados con componente especular incluida (SCI), y con componente especular excluida (SCE)

BIBLIOGRAFÍA

AEND. Asociación Española de Ensayos No Destructivos. (2002): "Normas, procedimientos, instrucciones de ensayo", en *Ensayos no destructivos. Líquidos Penetrantes nivel II*. Madrid, Fundación Confemetal, 129-139.

Bouzas, A., Laborde, A. (2003): "La Degradación del Hueso", *Monte Buciero* 9, 267-275.

Brothwell, D. R. (1981): "Notas orientativas para la excavación y la redacción de informes sobre restos humanos, (capítulo 1º) "en *Desenterrando huesos. La excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano*. México: Fondo de Cultura Económica, 11-38.

Calvo, A. (2002): *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. de la A a la Z*. Ediciones del Serbal, Barcelona.

Canci, A. Minozzi, S. (2009): "Lo scavo, il restauro e la conservazione" en *Archeologia dei Resti Umani: Dallo Scavo al laboratorio*. Roma: Carocci, 93-115.

Cirujano, C., Laborde, A. (2009): "La conservación arqueológica". *Revista Arbor* CLXIX, 691-709.

Decálogo de la Restauración, (acceso 30 junio 2012): "Decálogo de la Restauración - Criterios de intervención en Bienes Culturales" <http://www.mcu.es/patrimonio/docs/MC/IPHE/M0901-02-3-PDF1.pdf>.

E.C.C.O. (acceso 3 marzo 2012): "Directrices profesionales de E.C.C.O.: la profesión y su código ético". http://www.grupotecnic.org/2002_directrices_%20profesionales_de_ecco_la_profesion_y_su_codigo_etico.pdf.

Fenoy, E. (2009): "Restauración de material óseo procedente del yacimiento de Bilbilis (Calatayud)". *Kausis*. 6, 6-35.

García, S., Flos, N. (2008): *Conservación y restauración de bienes arqueológicos*. Síntesis, Madrid.

García-Galán, M^a I. (2005): "Restauración de materiales orgánicos pertenecientes al yacimiento de Cabezos Viejos, Archena". *Revista Verdolay*. 9, 355-374.

CIE (Commission International de L'Eclairage). (1976): "Recommendations on uniform color spaces, color difference equations psychometric color terms". CIE Publication. Supplement n° 2. Bureau centra de la CIE. Colorimetry 1.

Matteini, M., Moles, A. (2001): "Parte Primera: Materiales Pictóricos y Productos para la Restauración" en *La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico*. Nerea, Guipúzcoa, 95-345.

Melgosa, M., Pérez, M.M., Yebra, A., Huertas, R., Hita, E. (acceso 20 de febrero de 2011): "Algunas reflexiones y recientes recomendaciones internacionales sobre evaluación de diferencias de color, Óptica Pura y Aplicada". <http://www.optica.unican.es/RNO7/Contribuciones/articulospdf/corbalan1.pdf>

Nugari, M.P. (1989): "La reintegrazione della cerámica da scavo". *Esteratto dalla Rivista <<Faenza>> Bolletino del Museo Internazionale delle ceramiche di Faenza Annata LXXV, Faenza editrice. II Metodologie conrrenti di intervento e nove proposte* 1-3, 17- 34.

Morales, D.; Ruiz, E. (2004): "El problema de la conservación de Restos Arqueológicos en la Amazonía Peruana. El caso del sitio "El Zapotal" en la Reserva Nacional PACAYASAMIRIA", *Supay, Revista de Humanidades y Ciencias del Hombre de la UNFV* 5, 111-132.

Ontiveros, E. Villegas R. (2006): "LA CIENCIA DE LOS MATERIALES", *PH CUADERNOS Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles Centro de Intervención del IAPH* 19, 54-69.

Quevedo, A., Rodríguez, I. (2001): "Restauración del material óseo excavado en la iglesia de San Francisco de Paula". *Gabinete de Arqueología*, Boletín 1, 56-59.

UNESCO (acceso 27 enero 2011): "Recomendaciones que define los Principios Internacionales que deberán aplicarse a las excavaciones Arqueológicas 1". <http://www.portal.unesco.org>.

Sease, C. (1994): "Chaper five: Specific materials and treatments", en *A Conservation Manual for the Field Archeologist. Archaeological Research Tools 4 Institute if Archaeology*, UCLA Institute of Archaeology Editorial Board, University of California, Los Angeles, 43-103.

Teneiro, Y. (2000): *Medidas urgentes de conservación en intervenciones arqueológicas. Capa 13 Criterios e convencións en arqueoloxía da paisaxe No 13*, Laboratorio de Arqueoloxía e Formas Culturais, IIT, Universidade de Santiago de Compostela.

EN 13755: 2008 Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.

EN 15801: 2009. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo Determinación de la absorción de agua por capilaridad.
UNE-EN 15802:2009 2010. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo Determinación del ángulo de contacto estático.

UNE-EN 15803:2010 Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (Øp).

English version

TITLE: *Suitability of traditional stuccos used nowadays in the volumetric reintegration of bone materials*

ABSTRACT:

In the restoration of bone material the minimum intervention principle prevails, however, when pieces show problems of structural stability gap filling is required. Unfortunately, in this treatment fillers that are considered suitable for the reintegration of archaeological ceramics is used.

This work focuses on the comparative study of the physical-mechanical behavior of the two materials used in this type of volumetric reintegration volumetric of this organic material. Among the stucco selected, we highlight the ones made from plasters with different hardness, and wax-based stucco, these being the most frequent in this kind of treatment.

For this purpose, we evaluates the suitability of these materials by their behavior, tested through various laboratory tests to verify the changes experienced in order to select the material that suits the intrinsic properties of the original, since time affects the stability of the piece and also to the products used in his restoration.

KEYWORDS: *reintegration, gap, stucco, fillers, bone, osseous, archaeological, plaster, wax, conservation*