

Escultura //**Restauración de las gárgolas de la Lonja de Mercaderes de Palma de Mallorca (2008-2010). Revisión del proceso de extracción de sales solubles (2010-2020).**

El siguiente estudio es una revisión y síntesis de la intervención realizada en el conjunto escultórico de las gárgolas del edificio del gótico civil, la Lonja de Mercaderes, obra de Guillem Sagrera, ubicada en la ciudad de Palma (Mallorca). En 2020 se cumplieron diez años de esta restauración y, aprovechando la ocasión, se realizó una investigación documental para dar a conocer el estado de la cuestión de uno de los procesos aplicados al conjunto escultórico de las gárgolas: la extracción de sales solubles.

Eva Planells Torres. Historiadora del Arte. Graduada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales, en la especialidad de Escultura y Titulada Superior en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la especialidad de Escultura por la ESCRBC. evaevi@yahoo.es

Palabras Clave: arte gótico, lonja de Mercaderes gárgola, extracción de sales solubles.

Fecha de recepción: 2-XII-2020 > **Fecha de aceptación:** 9-XII-2020

INTRODUCCIÓN

Entre 2008 y 2010 se completó la primera fase de la intervención de conservación y restauración del edificio del gótico civil, la Lonja de Mercaderes, así como del conjunto escultórico de las gárgolas. La restauración la llevó a cabo un equipo interdisciplinario de profesionales ligados al campo de la conservación y restauración.¹

El presente artículo consiste en una revisión y síntesis de la intervención efectuada en el conjunto escultórico de las gárgolas de la Lonja de Mercaderes. Además, se realiza una investigación documental sobre el proceso de extracción de sales solubles, con un análisis y discusión de los resultados, estableciendo una comparativa con el método de extracción de sales solubles utilizado en las gárgolas y, finalmente, razonando unas conclusiones.

Las sales solubles son omnipresentes en los materiales pétreos, constituye el principal mecanismo de deterioro en el patrimonio cultural, provocando pérdida de cohesión de los componentes, dando lugar a diferentes degradaciones y pudiendo comprometer el éxito de tratamientos posteriores.

Para la extracción de sales solubles en profundidad realizada en las gárgolas, se utilizó el método de extracción de sales solubles mediante la aplicación de materiales absorbentes con agua desionizada y, de forma específica, se aplicó la metodología desarrollada por el equipo Arbotante, del departamento de Geología de la Universidad de Zaragoza. Esta metodología, surgida a raíz de una serie de experimentos con piedra arenisca y apósitos con fibra de celulosa, establece que la máxima concentración de sales en la cataplasma se da en los primeros diez o quince minutos de haber colocado el apósito sobre el sustrato.

METODOLOGÍA

Para la redacción de este artículo se ha llevado a cabo una revisión y síntesis de las memorias finales de la primera fase de la Lonja de Mercaderes y, especialmente, de las gárgolas. Asimismo, se ha realizado una investigación documental sobre métodos de extracción de sales solubles, basada princi-



palmente en recursos electrónicos, en catalán y castellano: buscadores (Google Scholar), plataformas (Academia.edu), catálogos (CABIB, REBIUN, CCUC), bibliotecas accesibles en línea (ICCROM), bases de datos (DIALNET), congresos, revistas especializadas y otras fuentes. En inglés: plataforma (Academia.edu). La investigación se ha efectuado mediante palabras clave (extracción de sales solubles, eliminación de sales solubles, desalación, sales solubles, métodos de extracción de sales solubles) y autor: Josep Gisbert Aguilar. Al mismo tiempo, se han establecido unos criterios de inclusión y de exclusión: publicaciones que desarrollan el tema de extracción de sales solubles e investigación acotada del 2010 al 2020.

¹ La intervención de conservación y restauración de la Lonja de Mercaderes (2008-2010) se realizó a partir del *Proyecto de ejecución para las obras de restauración de la Lonja de Palma. Memoria II*, redactado por la arquitecta Gloria Alcázar (Ministerio de Fomento) en el año 2000. Los trabajos fueron ejecutados por la UTE (unión temporal de empresas): Restaurotec S.L. – Construcciones Llabrés Feliu.

² Tal como aparece en la documentación de la época.

³ SABATER, T. "Guillem Sagrera, arquitecto y escultor". En: CLIMENT GUIMERÀ, F. (coord.). *La Lonja de Palma*. Mallorca: Gobierno Balear, 2003, p. 57-78.

⁴ Gres calcáreo (*grains-tone*) o biocalcoarenita constituida básicamente por calcita (CaCO₃), aunque puede contener pequeños cantidades de dolomita [(Ca, MgCO₃)] variables de una zona a otra. El conjunto está formado por una acumulación de fósiles que dan lugar a una importante porosidad móldica (formada por los espacios del interior de los organismos), parcialmente cementada por calcita esparítica. PATRIMONI-UB. *La Llotja de Mercaders*. Palma de Mallorca. *Materials de construcció. Estat de conservació. Mecanismes de degradació. Suggestiments de restauració*. Informe inédito. Barcelona: Restaurotec. Técnicas de restauración S.L., 2006, p. 4.

⁵ CANTARELLAS, C. "La Lonja de Palma. Un espacio único". En: CLIMENT GUIMERÀ, F. (coord.). *La Lonja de Palma*. Mallorca: Gobierno Balear, 2003, p. 57-78.

⁶ CANTARELLAS, C. "La Lonja de Palma. Intervenciones y propuestas ochocentistas". *Mayurqa*. Vol. 2 (1989), nº 22, p. 726.

⁷ Traducción al castellano del original en catalán: PATRIMONI-UB. *Llotja de Mercaders, Palma de Mallorca. Anàlisi de les gàrgoles. Estat de conservació i propostes d'intervenció*. Informe inédito. Barcelona: Restaurotec. Técnicas de restauración S.L., 2009, p. 3.

⁸ Los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 de los indicadores de alteración se han realizado a partir de la clasificación llevada a cabo por Alcalde Moreno. Ver el capítulo "La alteración de la piedra en los monumentos" en: ALCALDE MORENO, M. *Diagnosis y tratamiento de la piedra: I. La alteración de la piedra en los monumentos*. Madrid: Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, 1990. La alteración de la piedra en los monumentos: p. 15-34. El punto 6 de los indicadores de alteración, a partir de la clasificación hecha por el ICOMOS. Ver ICOMOS-ISC. *Illustrated glossary on stone deterioration patterns Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre* [En línea]. <https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf> [Consulta: 1 marzo 2020].

⁹ La intervención se llevó a cabo según la legislación vigente sobre patrimonio histórico (Ley del Patrimonio Histórico Español 16/1985, *Llei del Patrimoni Històric de les Illes Balears 12/1998*), las recomendaciones de las cartas internacionales (Carta del Restauro 1987, Carta de Cracovia 2000, Carta ICOM-CC Nueva Delhi 2008). Así como las pautas y criterios de intervención en materiales pétreos establecidos por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE).

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Lonja de Mercaderes, obra capital del gótico civil de las Islas Baleares, fue construida por Guillem Sagrera, la figura más importante del arte medieval en las Islas Baleares. En 1421 se iniciaron las obras de construcción de la Lonja de Mercaderes y, en 1426, se firmó el contrato entre el colegio de Mercaderes y Guillem Sagrera, lapiscida, albañil, y maestro,² simultáneamente las funciones de constructor, escultor y maestro de obras.³

La Lonja se construyó mayoritariamente con piedra de Santañí,⁴ siendo un edificio de planta rectangular que forma un único espacio interior, con seis columnas helicoidales sin basa ni capitel y cubierta de bóveda de crucería. **1** [pág.118]

En las fachadas exteriores, las esquinas están rematadas por torres octogonales acabadas en almenas escalonadas. Los muros presentan una marcada imposta a media altura que divide la composición de cada lado en dos sectores (el superior y el inferior) muy delimitados, a la vez que contrafuertes de poca sección marcan el ritmo de las crujías, a las que dividen verticalmente. El remate de las cuatro fachadas consiste en una galería abierta formada por arcos conopiales rematada con torretas como acabado de cada uno de los pequeños contrafuertes mencionados. **2** [pág.118] La cubierta es de teja y está configurada a cuatro aguas.

El conjunto consta de dos puertas opuestas, siguiendo el eje de la nave central (con orientación a levante y a poniente), con arquivoltas y decoraciones según los criterios del estilo gótico. La puerta que da a la plaza de la Lonja presenta al Ángel de la Mercadería, el patrón del gremio de mercaderes. **3** [pág.118] Incluye dos aperturas en el lado norte que alcanzan casi la totalidad del ancho de las crujías centrales y ventanas en el sur, partidas por un mainel central y con tracerías decorativas.⁵

La Lonja comprende un amplio conjunto escultórico que incluye 10 gárgolas en la parte superior, **4** [pág.119] siendo una de las gárgolas de la fachada norte repuesta en 1885 por el escultor Antoni Vaquer (1837-1915).⁶ **5** [pág.120] Todas las gárgolas están esculpidas con piedra de Santañí, si bien de una variedad ligeramente diferente de la utilizada para la construcción del bien inmueble: "Se trata de una piedra de grano más grueso, con más alta porosidad, a pesar de que está muy cohesionada y es de buena calidad. Su composición casi es exclusiva de calcita (CaCO₃), esta variedad presenta un bajo grado de dolomitización en comparación con la mayoría de piedra empleada en esta construcción".⁷ **6** [pág.120]

El edificio de la Lonja de Mercaderes pertenece al arquetipo de las logias mediterráneas y representa la síntesis del gótico mediterráneo, siendo una de las principales muestras del gótico civil tardío de la Corona de Aragón. El modelo constructivo iniciado por Sagrera fue imitado en la Lonja de Valencia.

INTERVENCIÓN DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN ESTADO DE CONSERVACIÓN

El estado de conservación del edificio de la Lonja de Mercaderes, así como del conjunto escultórico de las gárgolas, se puede considerar regular al presentar una buena estabilidad estructural. En las gárgolas se identifican una serie de indicadores de alteración, que se pueden agrupar de la siguiente forma:⁸

1. Modificaciones superficiales

Alteración cromática: pátina artificial anaranjada. Pátina de suciedad: capa fina de tonalidad marrón oscuro. Costras: costra negra irregular y dura; en determinados puntos, costra negra más gruesa, fruto de la recristalización globular. Estos indicadores se dan en las zonas más resguardadas, donde el agua de lluvia no tiene acceso. **7** y **8** [pág.120] Depósitos: acumulación de polvo y excrementos de palomas en la parte superior.

2. Eliminación/ pérdida de materia

Picado: se encuentra fuertemente ligado a la presencia de microorganismos. Erosión: erosión diferencial, dada por la composición de la piedra con nódulos de arcilla más alterables. Disgregación: aparece como producto de otras degradaciones, como la costra negra y la descamación. Implica pérdida de detallismo del relieve escultórico. **9** [pág.121]

3. Deformación

Ampollas: puntuales y relacionadas con la costra negra.

4. Rupturas

Fisuración: pequeñas fisuras superficiales, la mayoría asociadas a pequeñas pérdidas de soporte. Fragmentación: ruptura con pérdida de elementos de zonas más sobresalientes del relieve escultórico.

5. Disyunciones

Descamación: en relación con el desprendimiento puntual de la costra negra en forma de escamas. **10** [pág.122]

6. Colonización biológica

Microorganismos: especialmente hongos y líquenes de forma puntual, en las zonas con más retención de humedad o acumulación de agua.

PROCESO DE CONSERVACIÓN-RESTAURACIÓN DESCRIPCIÓN GENERAL

A continuación, se hace una descripción general de los procesos de intervención llevados a cabo en el conjunto escultórico de las gárgolas de la Lonja de Mercaderes.⁹ El orden en que se detallan los procesos no tiene por qué coincidir con el orden real de intervención, puesto que cada gárgola ha sido intervenida en función de su patología.

- Limpieza

Limpieza mecánica superficial: llevada a cabo en todas las gárgolas, mediante aspirador y brocha, para la eliminación de depósitos con escasa adherencia al soporte. Limpieza mecánica: se han realizado dos limpiezas mecánicas de forma puntual, básicamente para la eliminación, o como mínimo, rebajado de las costras negras: limpieza mecánica con micro-motor, Dremel® 300 Series con brocas de óxido de aluminio nº 952 y nº 953 (gárgolas 2, 8 y 9); ¹¹ [pág.122] combinada con la proyección de micropartículas abrasivas, como microesferas de vidrio (todas las gárgolas); ¹² [pág.122] Limpieza química: se ha llevado a cabo de forma puntual, con la aplicación de apósitos¹⁰ de *papetta* AB-57,¹¹ siempre combinada con la limpieza mecánica, para la eliminación de la costra negra y la suciedad muy adherida (gárgolas 3, 4, 5 y 9).

- Desinsectación

Se ha aplicado un biocida por impregnación, Algicid Plus KEIM® mediante brocha, en la parte superior y laterales de todas las gárgolas para la eliminación de hongos y líquenes. Puntualmente, dada la abundante presencia de ataque biológico, la desinsectación se ha combinado con la aplicación de apósitos de *papetta* AB-57¹² (gárgolas 6 y 7). ¹³ [pág.123]

- Cosido

Se ha llevado a cabo un cosido mediante la inserción de pernos de fibra de vidrio en determinadas gárgolas, con presencia de fisuras de largo recorrido y que a largo plazo podrían llegar a ser un peligro para su estabilidad estructural (gárgolas 1, 3, 7 y 8). En la gárgola del siglo XIX (gárgola 3) se han sustituido dos grapas metálicas, ubicadas en la parte superior, por una grapa compuesta de fibras de carbono MapeWrap G Fiocco.¹³

- Reintegración

Reintegración matérica: mediante un mortero de cal hidráulica y áridos seleccionados (1:4), se han dado de forma muy puntual en pérdidas de soporte ubicadas en la zona superior de las gárgolas, al ser una vía de entrada y de retención de agua importante (gárgolas 2 y 5). Reintegración cromática: mediante veladura por una cuestión estética, con pigmentos Restauro-Lasur KEIM® en la gárgola del siglo XIX (gárgola 3).

- Consolidación

Preconsolidación del soporte: puntual y aplicada por impregnación en las zonas disgregadas, mediante consolidante de silicato de etilo Estel 1000 con *white-spirit* D40 al 50%. ¹⁴ [pág.124] Relacionada con otros procesos de intervención (gárgolas 3, 4, 7 y 9). Consolidación del soporte: se ha aplicado en diferentes gárgolas por impregnación, mediante silicato de etilo Estel 1000, siempre después de la extracción de sales, ya que los consolidantes se tienen que aplicar cuando se han estabilizado los movimientos de sales solubles¹⁴ (gárgolas 1, 3, 7, 8, 9 y 10).

- Extracción de sales

Se ha llevado a cabo una extracción puntual de sales solubles, mediante fibras de celulosa Arbocel® BC 200 con interposición de papel japonés de 9 g, limitada a las zonas donde la piedra se encuentra fuertemente disgregada y como paso previo para la consolidación del soporte (gárgolas 1, 3, 7, 8, 9 y 10). ¹⁵ [pág.124]

- Medida de conservación preventiva

En la zona de la canalización de todas las gárgolas, y para disminuir la entrada de agua, se ha llevado a cabo la inserción de una plancha de plomo de 0,3 mm de grosor y de entre 1,40 y 1,60 m de longitud.

EXTRACCIÓN DE SALES SOLUBLES

Se ha llevado a cabo una extracción de sales solubles al 60% de las gárgolas, en concreto, en las gárgolas 1, 3, 7, 8, 9 y 10. La extracción se ha efectuado de forma puntual, localizada en las zonas que presentan disgregación y donde se tiene que realizar una consolidación del soporte.

Para verificar la idoneidad del sistema anteriormente explicado, en la gárgola 10 se ha procedido a la aplicación de dos apósitos con diferentes tiempos de contacto. Se han mezclado 60 g de fibra de celulosa, Arbocel® BC 200 con 600 ml de agua desionizada, midiendo antes la conductividad del agua (Ω). Se ha dejado reposar la mezcla entre 10 y 15 minutos y se ha vuelto a medir la conductividad (Ω). Se ha escurrido la fibra y se ha aplicado al soporte de piedra con el papel japonés completamente mojado. Se han realizado dos aplicaciones del mismo apósito en diferentes zonas de la parte inferior: zona 1: 10 a 15 minutos; zona 2: 24 horas. ¹⁶ [pág.125]

En la zona 1 se han llevado a cabo dos aplicaciones con un tiempo de contacto entre 10 y 15 minutos. En la zona 2 se ha realizado una aplicación dejando el apósito 24 horas, en este caso, se ha envuelto la gárgola con film transparente para retrasar el secado de la celulosa. Una vez pasado el tiempo de aplicación se han retirado los apósitos y se ha medido la conductividad (Ω_2). **TABLA 1**

Una vez analizados los resultados, y verificada la metodología establecida por el equipo Arbotante, se han dejado todos los apósitos entre 10 y 15 minutos, que es cuando se da una mayor extracción de sales y se consigue una notable agilización del proceso.¹⁶

En todas las gárgolas se han utilizado los mismos materiales y la misma metodología. Una vez localizadas las zonas disgregadas, se han empapelado con trozos de papel japonés adhiriéndolos al soporte con pincel y agua desionizada. En primer lugar, se ha medido la conductividad del agua (Ω), posteriormente se ha mezclado la fibra celulósica con agua desionizada, se ha dejado reposar unos diez minutos y se ha

¹⁰ Apósitos de sepiolita: arcilla absorbente de la marca comercial *Supermold*, formada por tres componentes sólidos: 86% Pansil 400 (carga mineral de alta actividad superficial); es un aditivo polifuncional fabricado con sepiolita, 8% Pangel B20 (aditivo reológico para sistemas orgánicos de polaridad media-baja) y 6% de Repr-Fibre 1000 (fibras para dar consistencia).

¹¹ Formulación creada por el *Istituto Centrale del Restauro*: por 1000 cc de agua, 30 g de bicarbonato de amonio, 50 g de bicarbonato de sodio, 25 g de EDTA (sal bisódica), 10 cc de desógeno y 60 g de carboximetilcelulosa.

¹² Por recomendación directa de la conservadora-restauradora Isabel de Rojas, miembro de la Dirección Facultativa.

¹³ Compuesta por una cantidad de hilos diferentes que han sido impregnados con MapeWrap 21, una resina epoxídica de dos componentes (A y B) 4:1 en peso.

¹⁴ LABORDE, A. (coord.). *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE). Secretaría General Técnica, 2013, p. 91.

¹⁵ El resultado de las sales extraídas será siempre la resta de: $\Omega_1 - \Omega_2 = \Omega_p$.

¹⁶ FRANCO, B. [et al.]. "Deterioro de los materiales por sales: cinética del proceso, cartografía y métodos de extracción". En: *Actas del I Congreso del GEIIC. Conservación del Patrimonio: evolución y nuevas perspectivas*. (Valencia, 25, 26 y 27 de noviembre de 2002). Valencia: GEIIC, 2002, p. 5.

TABLA 1 Resultado de las aplicaciones de los apósitos en la zona inferior de la gárgola 10.

	GÁRGOLA 10	AGUA Ω	AGUA+PAPEL ANTES Ω_1	AGUA+PAPEL DESPUÉS Ω_2	RESULTADO FINAL Ω_p
ZONA 1	1ª aplicación: 10-15 minutos	4 μ S	83 μ S	859 μ S	776 μ S
	1ª aplicación: 24 horas	4 μ S	83 μ S	400 μ S	317 μ S
ZONA 2	1ª aplicación: 24 horas	4 μ S	83 μ S	530 μ S	447 μ S

medido la conductividad del apósito antes de aplicarlo al soporte de piedra (Ω_1). El tiempo de contacto del apósito con el soporte ha sido de 10 a 15 minutos. Se ha dejado reposar la mezcla unos 15 minutos, se ha filtrado con una rejilla y se ha medido la conductividad en microsiemens (μS) mediante un conductivímetro (Ω_2). Una vez obtenidos los valores que se han considerado óptimos, se ha dejado secar el soporte para poder realizar la consolidación. **17** [pág.125]

MÉTODOS ACTUALES DE EXTRACCIÓN DE SALES SOLUBLES

LAS SALES SOLUBLES

Las sales solubles son omnipresentes en los materiales pétreos, siendo el principal mecanismo de deterioro en el patrimonio cultural, provocando pérdida de cohesión de los componentes, dando lugar a diferentes degradaciones y pudiendo comprometer el éxito de tratamientos posteriores. Las sales son el resultado de la evaporación del agua contenida en la fábrica, y tiene su origen en compuestos disueltos previamente en agua;¹⁷ se dan por los procesos de disolución, transporte y precipitación y tienen lugar en la superficie y en el interior de los elementos constructivos de los edificios.¹⁸ Principalmente, las sales solubles provienen de fuentes externas, excepcionalmente, como en el caso del yeso, son inherentes al material de construcción.

La alteración producida por las sales solubles se da a partir de varios mecanismos, principalmente relacionados con el agua, la temperatura, la humedad relativa y por la cantidad de sales presentes en la piedra: el tipo, su naturaleza (solubilidad), también por las características del soporte, su estructura porosa y la fuerza de cohesión del material.¹⁹

Los principales indicadores de alteración relacionados con

la presencia de sales solubles son las eflorescencias superficiales, la alveolización, la disgregación del soporte, la desplacación y la descamación. La correcta identificación de estos indicadores de alteración así como comprender sus causas y los mecanismos que los han originado, puede proporcionar información valiosa a la hora de acometer una intervención de extracción de sales solubles y de plantear una intervención de conservación y restauración que establezca las causas y mecanismos de degradación existentes. Uno de los motivos para llevar a cabo una extracción de sales es el de la consolidación del soporte, ya que el hecho de consolidar con presencia de sales solubles puede comprometer el éxito de la intervención.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número total de artículos consultados ha sido de 23 y los seleccionados finalmente para la realización del trabajo, según los criterios de inclusión y exclusión, han sido 14. De estos 14 artículos, 6 son en castellano y 8 en inglés.

De los 6 artículos en castellano, 2 corresponden a artículos con autoría de Gisbert Aguilar (junto con otros autores), quién han estudiado en profundidad el tema de la extracción de sales solubles, y a quién corresponde la metodología llevada a cabo para la extracción de sales solubles de las gárgolas en la intervención del 2008-2010.

A continuación, se presentan en diferentes tablas los resultados obtenidos de la investigación documental: en catalán, por autor (Gisbert Aguilar, J.); en inglés, los métodos de extracción y los tipos de estudio; en castellano, los métodos de extracción y los tipos de estudio y, finalmente, los principales temas tratados por los diferentes autores en relación con el proceso de extracción de sales solubles.

TABLA 2 Resultados de la investigación documental en castellano, extracción de sales solubles 2010-2020.

AUTOR/ AÑO	ESTUDIO / METODOLOGÍA	CONCLUSIONES / OBSERVACIONES
MAÑAS ALCAIDE, B. 2011/12	TFM en conservación y restauración. Estudio de laboratorio. Método: agua + material absorbente. Soporte: calcárea. Apósitos: sepiolita, vidrio granulado y fibras de celulosa. Secado: 48 h. T: 22,4 °C / HR 52,9%.	Extracción de sales solubles con mejores resultados: sin prehumectación, sin interponer papel japonés, y cuando las dimensiones de los poros del soporte son mayores que los del apósito.
ZORNOZA-INDART, A. 2012	Artículo. Estudio teórico. Recopilación de principales métodos de extracción de sales solubles.	No existe un método único. Se tienen que conocer todas las técnicas para valorar la más idónea en función de cada caso.
FEIJOO CONDE, J. 2016	Tesis. Estudio de laboratorio/ Estudio <i>in situ</i> (técnica electrocinética). Soporte: granito. Análisis de diferentes métodos de extracción de sales: baños de inmersión, 5 apósitos (fibras de celulosa, sepiolita, caolín), inhibidores y/o modificadores de la cristalización y técnicas electrocinéticas.	En total 26 ensayos de extracción de sales. Apósitos: su eficacia depende de la distribución de los poros y de su adecuación a la distribución de los poros del granito. Métodos electrocinéticos: mayor extracción de sales y a más profundidad. No produce ninguna alteración química o daño a los materiales. Todas las técnicas en mayor o menor medida provocan cambios de color.
GALÁN CABALLERO, M. 2018-2019	Temario asignatura Grado en conservación y restauración. Estudio teórico. Métodos: Inmersión y agua + material absorbente	Atapulgita: poder de absorción de agua, mayor que la sepiolita. Pulpa de papel: poder de extracción de sales solubles, menor que las arcillas, aunque no introduce tanta agua dentro de la piedra.

¹⁷ GISBERT AGUILAR, J. (coord.). "Las humedades y el deterioro de la fábrica pétreo". En: *I Jornadas de caracterización y restauración de materiales pétreos en arquitectura, escultura y restauración*. (Uncastillo, juliol de 2009). Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2009, p. 215.

¹⁸ LÓPEZ JULIÁN, P.L. [et al.]. "Caracterización geoquímica de las sales procedentes de deyecciones de palomas en patrimonio cultural. Iglesia de El Salvador (Úbeda, Jaén)". *Geconservación*. Vol. 1 (2018), núm. 14, p. 28.

¹⁹ MAÑAS ALCAIDE, B. *La técnica de desalación mediante empacos; estudio del comportamiento de diferentes materiales y técnicas de aplicación*. Tutor: Xavier Mas i Barberà. Trabajo final de máster. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2011-12, p. 14.

TABLA 3 Resultados de la investigación documental por autor. GISBERT AGUILAR, J., extracción de sales solubles 2010-2020.

AUTOR/ AÑO	ESTUDIO / METODOLOGÍA	CONCLUSIONES / OBSERVACIONES
EQUIPO ARBOTANTE/ GEOTRANSFER,²⁰ COLUCCI, F. 2010	Artículo. Estudio <i>in situ</i> . Cartografía de sales: creación de una red de puntos y medida de la conductividad en cada uno de ellos.	Obleas: Arboce [®] e hidroxipropilcelulosa: en función del soporte. Arboce [®] : para sustratos irregulares y con bajo valor artístico. Hidroxipropilcelulosa: para pintura mural o sustratos delicados. Interponer un papel japonés según las características del soporte. El sustrato tiene que estar seco y un exceso de agua en la oblea es perjudicial (genera halo salino perimetral). Tiempo de aplicación: "primer reflujo" entre 6 y 15 minutos (según Tº/ HR e insolación). Aplicación manual: factor errático. Secado: la sal emigra de los materiales macroporosos (primeros en secarse) a los microporosos (últimos en secarse). Cartografía de sales: distribución y composición de las sales en paramentos pétreos. Posición de los frentes húmedos y origen de la humedad.
LÓPEZ JULIÁN, P. L. [et al.]. 2018	Artículo. Estudio <i>in situ</i> . Caracterización de sales provenientes de las deyecciones de las palomas en la iglesia de El Salvador (Úbeda, Jaén). Mapas de sales, extracción de sales mediante apósitos Arboce [®] BC1000 durante 8 minutos, muestreo de aguas.	Las acumulaciones salinas afectan zonas mucho más amplias que las zonas visualmente identificables. Una fuente importante de sales: del lavado de acumulaciones de deyecciones de pájaros. Establecimiento de una metodología: mapas de conductividad + extracción de sales mediante apósitos en los puntos máximos + muestreo de aguas, da una más completa aproximación para identificar la procedencia de las sales y las zonas de acumulación y para establecer recomendaciones y un plan de mantenimiento adecuado.

²⁰ M. Blanco Domínguez, O. Buj Fandos, J. Gisbert Aguilar, P. López Julián, B. Franco López, I. Mateos Royo y P. Navarro Echeverría.

TABLA 4 Resultados de la investigación documental en inglés, extracción de sales solubles 2010- 2020.

AUTOR/ AÑO	ESTUDIO / METODOLOGÍA	CONCLUSIONES / OBSERVACIONES
SAWDY, A. [et al.]. 2011	Artículo. Estudio de laboratorio sobre la posibilidad de optimizar la extracción de sales con apósitos. Estudio de dos apósitos: arena y calolín. Sobre dos sustratos de diferente porosidad. Tiempo de secado: 48 h aprox. T: 20 °C / HR 50%.	En relación con las propiedades del sustrato se puede optimizar la extracción de sales relacionada con el apósito. La eficiencia de la extracción de sales depende de que el apósito tenga poros más finos que los del sustrato. Faltan estudios que analicen y evalúen el resultado a largo plazo de la distribución final de sales que queda dentro del sustrato después del tratamiento, ya que es impredecible.
VERGÈS-BELMIN, V.; HERITAGE, A.; BOURGÈS, A. 2011	Artículo. Estudio de laboratorio sobre la viabilidad del uso de apósitos de celulosa (Arboce[®]) para la extracción de sales. Expone ventajas e inconvenientes. Estudio a partir de apósitos Arboce [®] + agua desionizada. Sobre 15 tipos de roca diferentes. Tiempo de secado: entre 4 y 24 h. T: 20 °C / HR 50%.	Mayor extracción de sales con un apósito más delgado: suministra menos agua dentro del objeto (redistribución de sales) y tiene menos probabilidades de desprenderse del sustrato. La capacidad de sorción de los apósitos no está determinada por su longitud de fibra, sino, por la naturaleza del sustrato. Los apósitos de fibra corta (al contrario que los de fibra larga), son más fáciles de dispersar y requieren menos agua para ser viables. Las mezclas de diferentes longitudes de fibra en un mismo apósito no ofrecen ninguna ventaja. Arboce [®] (porosidad media de 10 µm) funciona mejor en sustratos de poros medio gruesos (15 µm y +), mientras que en sustratos finos (10 µm o -) la extracción de sales no sería tan eficiente.

AUTOR/ AÑO	ESTUDIO / METODOLOGÍA	CONCLUSIONES / OBSERVACIONES
KASHIF, K. 2012	Tesis. Estudio de laboratorio. Desalinización electrocinética de materiales de construcción porosos. Estudio a partir de un soporte: ladrillo de barro cocido y una sal; NaCl, cloruro de sodio.	Estudio muy limitado, ya que solo se hace a partir de un material y una sal: "En conclusión, nuestros resultados indican que el método electrocinético es ineficaz para el secado y tiene graves limitaciones para la desalinización de materiales de construcción como ladrillo de arcilla cocida".
DE CLERCQ, H. [et al.]. 2016	Artículo. Estudio de laboratorio e <i>in situ</i> . Método de electroforesis. Laboratorio: soporte: piedra calcárea, ladrillo, y ladrillo + mortero. Muestras contaminadas con NaCl. Electrodo: 7 - 19 días/ 10 - 30 v. <i>In situ</i> : ver GODTS, S.; DE CLERCQ H.; HAYEN, R.	Electroforesis, método potencial para la extracción de sales. Profundidad de extracción: entre 30 y 40 cm. Prehumectación del soporte: favorece la migración de las sales hacia el interior. Yeso excluido del estudio. Diferentes variables no estudiadas, no representación de la realidad (formación de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico durante el proceso, por uso de mezcla de calcita y celulosa reciclada).
GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; DEBAILLEUX, L. 2016	Artículo. Estudio de laboratorio. Método de extracción de sales mediante aplicación de apósitos. Soporte: 6 muestras de ladrillo, inmersión en NaCl. Apósito: fibras de celulosa (Arbocel® BW40), caolín y arena calibrada. Grosor apósito 1,5 cm. Secado: días. T: 20 °C / HR 50%.	La extracción de sales llevada a cabo por un apósito tiene una eficiencia baja en términos de reducción de contenido. Los resultados de laboratorio indican que cuanto más agua, más extracción de sal. En cambio, en la práctica, la prehumectación y la aplicación de cataplasma también pueden conducir a una redistribución de sales dentro del material en profundidad y a zonas menos contaminadas por sales. El tiempo de secado del apósito y del sustrato influirá en su rendimiento (un secado lento del sustrato parece favorecer la extracción de sales). Una conductividad decreciente en un apósito puede ser un indicador de que las sales se están redistribuyendo por el sustrato (no tiene por qué ser necesariamente que el contenido de sales decrezca).
GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; HAYEN, R. 2016	Artículo. Estudio realizado <i>in situ</i> . Comparativa de dos métodos de extracción de sales: apósitos y electroforesis. Soporte: ladrillo y mortero. Apósito: fibras de celulosa reciclada, caolín y arena. Prehumectación. Grosor: 1 cm. Secado: seis días. Electroforesis: material tampón, tablón de madera, 20 durante 14 días.	Cataplasmas: más extracción de sal en los primeros 2 cm. Cuanta más profundidad menos extracción. Si se utiliza mucha agua en la prehumectación, se favorece la migración de sales en profundidad. Electroforesis: más eficiencia en extracción de sales en profundidad. Menos eficiencia con prehumectación. Requiere más investigación. Método de extracción de sales hoy en día no seguro (durante el proceso se forman ácido clorhídrico y ácido sulfúrico).
WEDEKIND, W. [et al.]. 2016	Artículo. Estudio <i>in situ</i> , caso práctico. Técnica de extracción de sales por aspersión (sprinkling method) y reintegración matérica. Soporte: piedra arenisca. Rociado de agua: 10 minutos. Se recoge el agua no absorbida y se mide la conductividad eléctrica. 5 ciclos/ tres meses.	Las muestras por perforación muestran una disminución significativa de la carga de sal después del tratamiento. Método controlable con la medida de conductividad eléctrica. La consolidación no fue necesaria porque todo el material inestable se eliminó durante el proceso. Después de la extracción de sal, reintegración matérica. Método que produce una reducción de costes de un 30%.
WEDEKIND, W.; FISCHER, H. 2017	Artículo. Estudio realizado <i>in situ</i> . Se estudian dos métodos de extracción de sales y se analizan resultados a medio plazo: apósitos y método de aspersión (sprinkling method). Apósitos: celulosa y arena lavada. Aplicación hasta secado. 17 ciclos. Aspersión: se rocía agua a través de filtros pequeños hasta saturación del soporte.	Diez años después: en las zonas donde se realizó la extracción de sales mediante apósitos, los morteros de reintegración muestran signos de degradación. En las zonas donde se llevó a cabo el método de aspersión, los morteros de reintegración muestran un mejor estado de conservación. Método más eficiente, económico y rápido. Efectos secundarios del método de aspersión: migración de sales de zonas no tratadas a zonas tratadas (aunque también se da con los apósitos).

TABLA 5 Los métodos de extracción de sales solubles y el tipo de estudio en castellano.

MÉTODO	Agua + material absorbente	2 publicaciones ²¹ (50%)
	Diferentes métodos ²²	2 publicaciones (50%)
TIPO DE ESTUDIO	Teórico o de laboratorio	3 publicaciones (75%)
	Laboratorio / <i>In situ</i>	1 publicación (25%)

Aparte, cabe mencionar los resultados de la investigación por autor de Gisbert Aguilar, donde los artículos tratan sobre la metodología de extracción de sales mediante agua y material absorbente, en este caso, fibras de celulosa. Ambas publicaciones son estudios realizados *in situ*.

TABLA 6 Los métodos de extracción de sales solubles y los tipos de estudio en inglés.

MÉTODO	Agua + material absorbente	3 publicaciones (37,5%)
	Métodos electroquímicos	2 publicaciones (25%)
	Análisis de dos métodos: ²³ - Apósitos y electroforesis - Apósitos y método de aspersion	1 publicación (12,5%) 1 publicación (12,5%)
TIPO DE ESTUDIO	Laboratorio	4 publicaciones (50%)
	Laboratorio / <i>In situ</i>	1 publicación (12,5%)
	<i>In situ</i>	3 publicaciones (37,5%)

La extracción de sales solubles por aplicación de material absorbente con agua desionizada es el método sobre el cual se encuentra más documentación escrita, tanto en castellano como en inglés. Cabe destacar que sigue siendo el método de extracción de sales solubles en profundidad más utilizado en bienes inmuebles por los conservadores-restauradores de bienes culturales.

Con relación al tipo de estudio, es interesante resaltar cómo la mayoría de artículos, tanto en castellano como en inglés, son estudios de laboratorio, donde las condiciones y los parámetros creados de forma artificial²⁴ pueden ser una guía a extrapolar *in situ*, no obstante, no deja de ser una aproximación de la problemática real, puesto que las condiciones ambientales y todas las variables que pueden influir en una obra distan de poder ser “representadas” en un estudio de laboratorio.

En lo referente a la investigación bibliográfica en inglés, llama la atención la cantidad de artículos en relación con el total, que tratan el tema de la extracción de sales solubles mediante métodos electroquímicos (electrocinética y electroforesis). En España, Feijoo Conde en su tesis, realiza una comparativa entre diferentes métodos de extracción de sales en granitos, siendo el método electrocinético el que produce una mayor extracción de sales,²⁵ sin producir alteraciones químicas o daños a los materiales, frente a la extracción por apósitos, donde influyen variables como la porosidad, tanto del apósito como del soporte.²⁶

Si nos basamos en lo que exponen los documentos de referencia en España sobre criterios de intervención en materiales pétreos y concretamente sobre el tratamiento de sales

solubles, vemos como se recomiendan diferentes métodos: aspirado y cepillado superficial, biolimpiezas y materiales absorbentes con agua desionizada.²⁷ Los métodos electroquímicos como tales, no se citan, aunque se desaconseja la utilización de formulaciones que puedan generar problemas al soporte de piedra al modificar su sistema poroso, y la evolución de los cuales a largo plazo son inciertos. Se desaconseja expresamente el uso de inhibidores de cristalización, puesto que son procedimientos que suelen facilitar la formación de productos secundarios que pueden resultar ser nocivos para la conservación de la piedra.²⁸ Hay que remarcar que el espíritu del “Proyecto Coremans” se basa en la estabilización de riesgos, la mínima intervención y el mantenimiento, criterios ya de por sí opuestos a la propia metodología de los métodos electroquímicos.

En cuanto al método de extracción de sales solubles mediante agua y material absorbente, tanto en la documentación en castellano como en inglés, encontramos diferentes materiales que conformarían estos apósitos: fibras de celulosa, sepiolita, vidrio granulado, caolín, arena lavada, atapulgita y bentonita (estas dos arcillas solo mencionadas de forma teórica).²⁹

En el caso del equipo Arbotante:³⁰ fibras de celulosa para los apósitos y/o también hidroxipropilcelulosa para las obleas de las cartografías de sales.³¹

Además, y a rasgos generales, se han agrupado los principales temas tratados por los diferentes autores del método de extracción de sales solubles mediante apósitos, tanto en castellano como en inglés.

²¹ Una de las publicaciones trata el método de agua y material absorbente junto con la inmersión.

²² Apósitos, baños de inmersión, inhibidores de la cristalización y técnicas electroquímicas.

²³ Comparativa *in situ*.

²⁴ La mayoría de las publicaciones nombran las condiciones ambientales, temperatura y HR constantes, con las cuales se ha realizado el estudio.

²⁵ FEIJOO CONDE, J. *Definición de los protocolos más eficaces para la desalación en granitos ornamentales*. Directores: Teresa Rivas Brea y Javier Taboada Castro. Tesis doctoral inédita. Vigo: Universidade de Vigo, 2016, p. 262. Disponible el resumen en línea en: [-https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicha-Consulta.do?idFicha=417568](https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicha-Consulta.do?idFicha=417568) [Consulta: 1 marzo 2020].

²⁶ *Ibid.*, p. 273.

²⁷ LABORDE, A. (coord.). *op. cit.*, p. 89.

²⁸ *Ibid.*

²⁹ GALÁN CABALLERO, M. “Tema 5. Metodología de conservación y restauración de la escultura en piedra”. En: Apuntes inéditos de la asignatura *Metodología de Conservación y Restauración de Escultura I (materiales pétreos)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, 2018, p. 7.

³⁰ Resultados de la investigación por autor: GIBBERT AGUILAR, J.

³¹ BLANCO DOMÍNGUEZ, M. [et al.]. “Estudio y cartografía de sales en paramentos pétreos: Innovaciones tecnológicas con este propósito”. *La ciencia y el arte* (2010), nº 2, p. 162-170.

TABLA 7 Principales temas tratados por los diferentes autores en relación con la extracción de sales solubles.

APÓSITOS	Porosidad/ longitud de fibra/ grosor/ cantidad de agua/ contracción/ tiempo de aplicación/ difusión-advección.
PIEDRA	Papel japonés intercalado entre apósito y sustrato/ porosidad/ prehumectación/ profundidad de penetración del agua del apósito/ distribución de la humedad durante el secado/ profundidad de extracción de sales/ distribución en profundidad de las sales/ cambios de color.

Todos los autores que tratan el tema de la porosidad,³² tanto del apósito como del soporte, coinciden en el hecho que se produce una mayor eficiencia en la extracción de sales solubles, con la aplicación de unos apósitos con una porosidad más fina que la del soporte. Además, Feijoo Conde³³ menciona que, en caso de aplicar apósitos con una porosidad superior a la del sustrato pétreo, se producirá un retorno de las sales previamente extraídas desde el apósito hasta el soporte.

En cuanto a la prehumectación del soporte (previa a la aplicación del apósito), según las conclusiones obtenidas por Mañas Alcaide,³⁴ siempre se produce una mayor extracción de sales sin prehumectar previamente. Según Godts³⁵ la prehumectación, sobre todo si se utiliza mucha agua, puede favorecer a una redistribución de sales en profundidad.

El hecho de interponer un papel japonés entre el soporte y el apósito es mencionado por autores españoles: Mañas Alcaide³⁶ llega a la conclusión que siempre se dan unos mejores resultados de extracción de sales solubles sin interponer un papel japonés; en cambio, el equipo Arbotante³⁷ plantea la posibilidad de interponerlo en función de las características del sustrato.

En relación con la longitud de fibra de los apósitos de fibra de celulosa (Arbocel®), en los resultados de la revisión bibliográfica

llevada a cabo, solo un autor propone este tema,³⁸ concluyendo que la capacidad de sorción de los apósitos no está determinada por su longitud de fibra, sino por la naturaleza del sustrato, aunque los apósitos de fibra corta³⁹ son más fáciles de dispersar y requieren menos agua para ser viables que los de fibra larga.⁴⁰

El grosor de los apósitos así como su contracción son términos interrelacionados, llegando a la conclusión que se produce una mayor extracción de sales con un apósito más delgado, puesto que cuanto más agua en el apósito, mayor será la contracción, por lo tanto, los apósitos más delgados se encogen menos y suministran menos agua dentro del sustrato, reduciendo la posibilidad de redistribuir las sales; así mismo, también tienen menos posibilidades de desprenderse del soporte.⁴¹ Según Feijoo Conde,⁴² al añadir fibras de celulosa a los apósitos, se produce un aumento de la porosidad, pudiendo permitir una mejor cohesión y una adhesión al soporte durante más tiempo; al contrario, los apósitos que muestran una mayor contracción son los que no contienen celulosa en su composición.

Solo el equipo Arbotante⁴³ introduce un factor en relación con la aplicación misma del apósito al sustrato, que sería el hecho de colocar la cataplasma de forma manual, dando lugar a una distribución desigual del producto, debido a las diferentes presiones ejercidas con los dedos de la mano.

Respecto a la efectividad de la extracción de sales solubles en profundidad, solo un autor⁴⁴ ha estudiado este tema, el cual llega a la conclusión que se produce una mayor extracción en los primeros 2 cm de grosor del sustrato. A medida que aumenta la profundidad, menos efectiva es la extracción de sales solubles.

Otro punto importante a tratar sería el tiempo de aplicación del apósito sobre el soporte. En todos los artículos y publicaciones en inglés donde se especifica este dato, llama la atención cómo el mínimo se sitúa en 4 h⁴⁵ y el máximo en seis días.⁴⁶ Ni siquiera Mañas Alcaide⁴⁷ hace referencia a los estudios del equipo Arbotante, dejando los apósitos 48 h en contacto con el soporte. Solo el equipo Arbotante hace referencia al "primer reflujo" dejando los apósitos en contacto con el sustrato entre 6 y 15 minutos;⁴⁸ así mismo, en otro artículo cuya autoría corresponde a Gisbert Aguilar junto con otros autores, se dejan los apósitos en contacto con el sustrato pétreo 8 minutos.⁴⁹ Por otro lado, Feijoo Conde⁵⁰ recomienda no dejar secar los apósitos y realizar medidas de conductividad hasta establecer en qué punto la cataplasma llega a una conductividad máxima.

Según Feijoo Conde, todas las técnicas de extracción de sales analizadas en su tesis producen más o menos cambios de color.⁵¹

Sobre la técnica de extracción de sales por aspersión (*sprinkling method*), se trata de una técnica relativamente reciente, de la cual se han localizado dos publicaciones⁵² de hace pocos años. La técnica fue desarrollada por los autores

³² Ver MAÑAS ALCAIDE, B. *op. cit.*, p. 69, VERGÈS-BELMIN, V.; HERITAGE, A.; BOURGÈS, A. "Powdered cellulose poultices in stone and wall painting conservation. Myths and realities". *Studies in conservation*. Vol. 56 (2011), p. 292 y SAWDAY, A. "Optimizing the extraction of soluble salts from porous materials by poultices". *Studies in conservation*. Vol. 55 (2010), p. 35.

³³ FEIJOO CONDE, J. *op. cit.*, p. 152.

³⁴ MAÑAS ALCAIDE, B. *op. cit.*, p. 70.

³⁵ Ver GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; DEBAILLEAUX, L. "Salt extraction by poulticing unravelled". En: *Science and art: a future for stone. Proceedings of the 13th International Congress on the deterioration and conservation of Stone. (Paisley 6, 7, 8, 9 and 10 September 2016)*. Paisley: University of the West of Scotland, 2016, p. 341 y GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; HAYEN, R. "Poulticing vs electrophoresis desalination of Historic Masonry, The case of the mill at Hoksem". En: *International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering. Conference segment on Historical Masonry. (Lyngby 22, 23 and 24 August 2016)*. Lyngby: Technical University of Denmark, 2016, p. 152.

³⁶ MAÑAS ALCAIDE, B. *op. cit.*, p. 70.

³⁷ BLANCO DOMÍNGUEZ, M. [et al.]. *op. cit.*, p. 162.

³⁸ VERGÈS-BELMIN, V.; HERITAGE, A.; BOURGÈS, A. *op. cit.*, p. 293.

³⁹ Arbocel® BW40: longitud media de las fibras: 200 µm.

⁴⁰ Arbocel® BC1000: longitud media de las fibras: 700 µm.

⁴¹ VERGÈS-BELMIN, V.; HERITAGE, A.; BOURGÈS, A. *op. cit.*, p. 293.

⁴² FEIJOO CONDE, J. *op. cit.*, p. 138.

⁴³ BLANCO DOMÍNGUEZ, M. [et al.]. *op. cit.*, p. 164.

⁴⁴ GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; HAYEN, R. *op. cit.*, p. 152.

⁴⁵ VERGÈS-BELMIN, V.; HERITAGE, A.; BOURGÈS, A. *op. cit.*, p. 286.

⁴⁶ GODTS, S.; DE CLERCQ, H.; HAYEN, R. *op. cit.*, p. 147.

⁴⁷ MAÑAS ALCAIDE, B. *op. cit.*, p. 5.

⁴⁸ Según sustrato y condiciones ambientales. BLANCO DOMÍNGUEZ, M. [et al.]. *op. cit.*, p. 163.

⁴⁹ LÓPEZ JULIÁN, P.L. [et al.]. *op. cit.*, p. 29.

⁵⁰ FEIJOO CONDE, J. *op. cit.*, p. 266.

⁵¹ *Ibid.*, p. 274.

⁵² Ver WEDEKIND, W.; FISCHER, H. "Evaluation of desalination and restoration methods applied in Petra (Jordan)". En: *Fourth International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures (Postdam 20, 21 and 22 September 2017)*. Postdam: University of Applied Sciences Postdam, 2017, p. 191-199 y WEDEKIND, W. [et al.]. "Innovative treatments and materials for the conservation of the strongly salt-contaminated Michaelis church in Zeitz, Germany". En: *Science and art: a future for stone. Proceedings of the 13th International Congress on the deterioration and conservation of Stone. (Paisley 6, 7, 8, 9 and 10 September 2016)*. Paisley: University of the West of Scotland, 2016, p. 981-990.

de la publicación en Petra (Jordania) sobre la base de imitar el proceso natural del agua de lluvia, rociando las paredes del bien inmueble con agua y recogiendo el agua no absorbida por la piedra.⁵³ Ambos artículos son interesantes, porque realizan la extracción de sales con el fin de poder realizar una reintegración matérica con éxito. De toda la investigación documental realizada, estos son los únicos artículos con este tipo de casuística, la extracción de sales para garantizar la eficiencia y durabilidad de un proceso posterior. Similar a mi supuesto, la extracción de sales para realizar una consolidación del soporte.

COMPARATIVA CON EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE SALES SOLUBLES UTILIZADO EN LAS GÁRGOLAS

Según los resultados de la investigación documental, solo Gisbert Aguilar establece una metodología de actuación extrapolable a cualquier bien inmueble, que versa en la importancia de los estudios previos y el conocimiento en profundidad de la obra. En el caso de las gárgolas, se tendría que haber iniciado la intervención mediante la realización de una cartografía de sales, así como un análisis de las sales presentes.⁵⁴ Con la cartografía se habrían identificado los máximos salinos y la extracción de sales se habría realizado de forma controlada y con conocimiento de causa. La extracción de sales se llevaría a cabo en todas las gárgolas, y no solo ajustada a las zonas pendientes de realizar la consolidación, puesto que se podría dar una migración de sales de las zonas no tratadas a las tratadas.

Partiendo de los resultados de este trabajo se llevaría a cabo un análisis de caracterización del material pétreo, para identificar las características del sistema poroso del sustrato y, así, poder determinar las características de porosidad del apósito. Finalmente, la extracción de sales solubles se llevaría a cabo hasta una estabilización de los valores, tal como se hizo en la primera fase de la intervención.

Intervención en las gárgolas (2008- 2010)

- No se tuvo en cuenta la porosidad del apósito en relación con la porosidad de la piedra.
- Se llevó a cabo una prehumectación para adherir el papel japonés que se interpuso entre el sustrato y el apósito, dado el deficiente estado de conservación del soporte.
- Se utilizaron fibras de celulosa Arboce[®] BC 200.⁵⁵
- El grosor del apósito y la aplicación no se tuvieron en cuenta.
- El tiempo de aplicación fue de 10-15 minutos.

Intervención según los resultados de este trabajo

- Se tendría que tener en cuenta tanto la porosidad de la piedra como la del apósito, y este tendría que tener una porosidad más fina que la del soporte pétreo.
- Hoy en día se volvería a prehumectar mínimamente el soporte para la adhesión del papel japonés, dado que su deficiente estado de conservación lo requeriría (aunque en principio, la extracción de sales no sería tan eficiente).
- Se utilizarían apósitos con fibra de celulosa Arboce[®] BWW 40.⁵⁶
- El grosor del apósito tendría que ser mínimo y su aplicación se tendría que realizar con cuidado y de forma homogénea, ejerciendo la misma presión con los dedos de la mano.
- En la medida de lo posible, se podrían realizar mediciones con conductímetro para establecer en qué punto el apósito llega a una conductividad máxima;⁵⁷ si no, se establecería un rango de tiempo entre 6 y 15 minutos.

CONCLUSIONES

- Este estudio, desarrollado a partir de los resultados de una investigación documental, basada en recursos electrónicos y

acotada del 2010 al 2020, no deja de ser una visión puntual y parcial sobre uno de los procesos más destructivos en patrimonio histórico como son las sales solubles.

- Muchas publicaciones son estudios de laboratorio, estudios limitados que tienen poca relación con la problemática real en el momento de encarar una extracción de sales solubles en un bien inmueble, donde los factores relacionados con los agentes ambientales se deben tener en cuenta.

- La mayoría de estudios de laboratorio dan información respecto a los parámetros ambientales con los cuales se han creado (Tª y HR), al contrario que los estudios realizados *in situ*, donde de la misma manera se tendría que proporcionar la información correspondiente a los parámetros ambientales de la zona y obra en concreto.

- Muchos autores tratan temas puntuales relacionados con las sales solubles, pero no logran una metodología de actuación que dé unas pautas e importancia a los estudios previos y al conocimiento de la obra; solo Gisbert Aguilar, aporta una metodología que tiene en cuenta estos factores y que es extrapolable a cualquier obra.

- En lo referente a los temas tratados en el apartado de resultados y discusión del TF a partir del cual se ha escrito este artículo: el apósito tiene que tener una porosidad más fina que la del soporte, mejor realizar la extracción de sales sin prehumectación, sin interponer un papel japonés, con unos apósitos delgados y colocados con la misma presión en los dedos. El tiempo de contacto del apósito con el soporte se tiene que establecer a partir del primer reflujo.

- El método material absorbente y agua: como guía para los conservadores-restauradores que tienen que llevar a cabo una extracción de sales mediante esta técnica, sería de gran utilidad realizar un muestrario con la porosidad de diferentes apósitos con diferentes materiales.

- Los métodos electroquímicos (electrocinéticos y electroforesis): las publicaciones incluidas en este estudio se tendrían que poner en contexto con los criterios de restauración de materiales pétreos de los países de origen. En cualquier caso, la mayoría son estudios muy recientes y se tendrá que ver su evolución a medio y largo plazo.

- El método de aspersión (*sprinkling method*): se trata de un método de extracción de sales muy reciente, en el cual no hay un control del agua que se introduce en el bien inmueble, pudiendo ser contraproducente y llevar a una remoción de las sales más profundas.

- Dada la falta de publicaciones existentes sobre el tema, sería interesante abrir una nueva vía de investigación que una y coordine el proceso de extracción de sales solubles junto con el de la consolidación del soporte.

IMÁGENES

1 Imagen del interior de la Lonja de Mercaderes (Fotografía: E. Planells).

2 Imagen de la fachada principal de la Lonja de Mercaderes (Fotografía: E. Planells).

3 Imagen de detalle del Ángel de la Mercadería (Fotografía: E. Planells).

⁵³ WEDEKIND, W.; FISCHER, H. *op. cit.*, p. 196.

⁵⁴ Según normativa: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, AENOR. *Conservación del patrimonio cultural. Extracción y determinación de sales en la piedra natural y materiales afines utilizados en el patrimonio cultural: UNE-EN 16455*. Madrid: AENOR, 2016, p. 8

⁵⁵ Con una longitud media de las fibras de 300 µm.

⁵⁶ Longitud media de las fibras de 200 µm.

⁵⁷ Para establecer cuando se da el primer reflujo: a partir del tipo de apósito, tipo de sustrato y condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y si le da el sol directamente). BLANCO DOMÍNGUEZ, M. [et al.]. *op. cit.*, p. 164.

4 Plano de ubicación de las gárgolas a partir de la planta de la Lonja de Mercaderes (Fotografías: J. Riesco. Plano realizado por la autora a partir de Adobe Photoshop®).

5 Fotografía de finales del siglo XIX, donde se puede observar cómo en la fachada norte falta una gárgola (gárgola 3), sustituida provisionalmente por un tubo (Fotografía: DE LAURIERE, J. "Casa Lonja", 18 x 13 cm, c.1881-1893, *Arxiu del So i de la Imatge de Mallorca (ASIM)*). Imagen modificada por la autora con Adobe Photoshop®).

6 Vista lateral de una de las gárgolas que da al Paseo Sagrera (gárgola 9) (Fotografía: E. Planells).

7 Vista inferior de la gárgola 4 con abundante presencia de costra negra (Fotografía: E. Planells).

8 Imagen de detalle de la gárgola 5 con presencia de costra negra puntual con recristalización globular (Fotografía: E. Planells).

9 Imagen de las extremidades anteriores de la gárgola 10 con una elevada presencia de disgregación del soporte (Fotografía: E. Planells).

10 Imagen de detalle de la zona inferior de la gárgola 1 con presencia de descamación de la costra negra (Fotografía: E. Planells).

11 Detalle de cata de limpieza mecánica con microtorno para el rebaje de la costra negra. (Fotografía: V. López).

12 Imagen de la proyección de microesferas de vidrio de forma puntual y controlada en la gárgola 1 (Fotografía: V. López).

13 Imagen de la aplicación de apósitos de *papetta* AB-57 en la gárgola 6 para facilitar la eliminación del ataque biológico (Fotografía: E. Planells).

14 Imagen de detalle de la gárgola 3 con zonas puntuales preconsolidadas (Fotografía: E. Planells).

15 Detalle de la zona inferior de la gárgola 1 durante el proceso de extracción de sales solubles (Fotografía: E. Planells).

16 Imagen de la zona inferior de la gárgola 10 con tiempos controlados de aplicación de los apósitos (Fotografía: E. Planells. Imagen modificada por la autora con Adobe Photoshop®).

17 Mapas de intervención de extracción de sales solubles en las gárgolas 1, 3, 7, 8, 9 y 10 (Fotografía: E. Planells. Imágenes modificadas por la autora con Adobe Photoshop®).

BIBLIOGRAFÍA

DE CLERCQ, H. [et al.]. "Electrophoresis as a tool to remove salts from stone building materials- Results from lab experiments and an on-site application". En: *Science and art: a future for stone. Proceedings of the 13th International Congress on the deterioration and conservation of Stone. (Paisley 6, 7, 8, 9 and 10 September 2016)*. Paisley: University of the West of Scotland, 2016, p. 289-297.

KASHIF, K. *Electrokinetic desalination of porous building materials*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Department of Applied Physics, 2012.

ZORNOZA-INDART, A. "Daños por cristalización de sales". En: *Curso postgrado CSIC. La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio. (Madrid, enero de 2012)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2012, p. 97-105.