

Uso de soluciones tampón gelificadas para la remoción de pintadas vandálicas en la naveta des Tudons (Menorca)

La naveta des Tudons forma parte del excepcional conjunto monumental prehistórico de Menorca y está considerada la construcción más importante de la prehistoria balear y uno de los edificios conservados más antiguos de Europa. En marzo de 2018, el monumento fue víctima de un acto vandálico sin precedentes en Menorca: 88 pintadas hechas con spray negro que afectaron a 81 de los bloques de piedra que forman parte del edificio. Para la remoción de las pintadas se diseñó un sistema de limpieza siguiendo la metodología de trabajo acuoso con soluciones tampón, quelantes, geles y emulsiones sin tensioactivo del Dr. Richard Wolbers.

Aleix Barberà Giné. Conservador-restaurador de bienes culturales. Profesor asociado de la Universidad de Lérida.
aleixbg@gmail.com

Silvia Marín Ortega. Profesora de conservación y restauración de la especialidad de bienes arqueológicos de la ESCRBC. Arqueóloga y conservadora-restauradora de bienes culturales.
marinortegasilvia@gmail.com

Francesc Isbert Vaquer. Conservador-restaurador de bienes culturales.
xisbert@gmail.com

Palabras Clave: naveta, cultura talayótica, colonización biológica, solución tampón, acto vandálico, grafiti.

Fecha de recepción: 21-2-2019 > **Fecha de aceptación:** 24-2-2019



INTRODUCCIÓN

El 17 de marzo de 2018 la prensa se hacía eco de un ataque vandálico a la naveta des Tudons, ocurrido el día anterior y del cual habría dado aviso el vecino de Ciudadela Òscar Pons Martí. El ataque consistió en un total de 88 pintadas con spray de pintura en aerosol de color negro que afectaron a 81 de las piedras que conforman el monumento, repartidas entre todas las caras de su perímetro y a diferentes alturas. [1] [pág. 16]

Ubicada en la finca Es Tudons, en el término municipal de Ciudadela, la llamada naveta des Tudons es el monumento más

representativo de la cultura talayótica. Este edificio, que bre indica, es un edificio con forma de nave invertida. Presenta una cámara principal dividida en dos pisos; al superior se accede a través de una chimenea situada en la antecámara. Es un monumento ciclópeo pseudoisódomo construido a partir de grandes bloques de piedra cortada y encajada con la técnica de piedra en seco, sin ningún tipo de mortero de unión entre ellos. El piso superior y la cubierta son de losas, a diferencia de los paramentos ciclópeos.

La naveta es descubierta en 1818 por Joan Ramis i Ramis pero no es excavada ni restaurada hasta el año 1959, bajo la direc-

ción de la cultura talayótica. Fue emblemático y visitado de la isla de Menorca. Fue excavada y restaurada en 1959 por Maria Lluïsa Serra y Lluís Pericot con el resultado del estado de conservación inmejorable que presentaba hasta que ocurrió el acto vandálico. Forma parte del excepcional conjunto monumental prehistórico de Menorca y está considerada la construcción más importante de la prehistoria balear y uno de los edificios conservados más antiguos de Europa.

DESCRIPCIÓN

Las navetas funerarias se enmarcan dentro del periodo que se conoce como prototalayótico (1.050-850 a. C.) durante el cual los pobladores de Menorca abandonan los hábitats dispersos de casas naviformes para concentrarse en núcleos poblacionales más grandes. La naveta des Tudons es un edificio funerario orientado al sudoeste y, como su nom-

ción de Lluís Pericot y María Lluïsa Serra. Durante las campañas de 1959 se encontraron una gran cantidad de huesos humanos diseminados por la cámara sin un orden aparente junto con una serie de piezas cerámicas y algunos ornamentos personales como botones, punzones de hueso, brazaletes y cuentas biconicas de bronce¹. Las dimensiones de la naveta son 13,6 m de largo por 6,4 m de ancho y 4,5 m de altura. **2** [pág. 18]

ANTECEDENTES

Un acto vandálico de tal envergadura sobre el patrimonio cultural no tenía ningún tipo de precedente en la isla de Menorca. La gravedad de los daños fomentó que la prensa local y nacional se hiciera eco de la noticia y, en consecuencia, el Servicio de Patrimonio del Consejo Insular de Menorca recibió un alud de propuestas por parte de empresas de todo el estado para quitar las pintadas. Algunas propuestas se basaban en limpiezas con diferentes tipos de maquinaria industrial de proyección de áridos que se utilizan habitualmente para limpiar grafitis en espacios urbanos y estructuras viarias.

Como medida inicial el Servicio de Patrimonio encarga un primer documento, *Informe d'afectació relatiu a les pintades en graffiti a la Naveta des Tudons*,² con el fin de evaluar el alcance de los daños. Paralelamente, y para contrastar las propuestas recibidas, también pide un informe técnico y presupuesto de la actuación a otros conservadores-restauradores de Menorca que aconsejan a la institución pedir el asesoramiento del Centro de Restauración de Bienes Muebles de Cataluña (CRBMC).

Pere Rovira, responsable del área de pintura mural y escultura en piedra del CRBMC, recomienda la ejecución de unas pruebas previas de limpieza *in situ* para determinar el procedimiento óptimo para la remoción de los grafitis según los conocimientos y técnicas actuales, basados en la metodología de trabajo con soluciones tampón y emulsiones, desarrollada por el Dr. Richard Wolbers³ de la Universidad de Delaware, como alternativa a la aproximación tradicional con sistemas de limpieza por proyección de abrasivos.

ESTADO DE CONSERVACIÓN

En términos generales se determinó que la naveta des Tudons presentaba un estado de conservación regular, ya que, si bien el daño que implicaba la presencia de las pintadas vandálicas era visualmente muy importante, no había afectado la estructura original de la obra.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que la naveta se encuentra expuesta a unas condiciones ambientales propias de su ubicación, con serias variaciones termohigrométricas, fuerte incidencia lumínica y agentes atmosféricos variables (lluvia, fuertes rachas de viento, etc.), todos ellos factores causales del estado de conservación previo al ataque vandálico.

En segundo lugar, hay que destacar la capa biológica que cubre casi la totalidad del monumento. **3** [pág. 19] Los líquenes han colonizado la cara externa de los bloques de piedra y, por lo tanto, han producido alteraciones tanto de tipo físico (crecimiento radicular de organismos, retención de humedad, depósitos orgánicos, etc.) como químico (producción de ácidos, formación de oxalatos, alteraciones cromáticas, etc.).

Soporte

En el plazo de ejecución de las pruebas de limpieza no fue posible, por limitaciones logísticas y de tiempo, la extracción y análisis de muestras del soporte. Aun así, el informe de Carolina Moreno, Sílvia Soler y Montserrat Anglada⁴ determinó que la piedra de construcción del monumento funerario era

biosparita, un tipo de piedra caliza bioclástica de porosidad irregular predominante en la isla.

La sensibilidad de esta piedra a la erosión hídrica hace que presente numerosos alveolos y pequeñas cavernas en múltiples bloques. Es posible que algunas de estas degradaciones sean previas al emplazamiento de los bloques, extraídos de afloramientos rocosos, para la construcción de la naveta. Aun así, son zonas especialmente sensibles a la acumulación de humedad y sedimentos y, en consecuencia, zonas más predisuestas a continuar degradándose y a la colonización biológica.

En correlación con la presencia de pequeños alveolos se observa un nivel de degradación diferencial entre los distintos bloques constitutivos de la naveta. Esta circunstancia responde a la composición natural de la piedra, que es diferente en función de la zona de extracción y da lugar a que algunos bloques presenten un *pitting* más acusado, mientras que en otros, la presencia de alveolos pueda ser más eventual o, incluso, inexistente.

Puntualmente se observa también cómo algunos de los bloques de piedra se han fracturado y presentan los diferentes fragmentos en su posición original pero con una grieta abierta entre ellos. A pesar de estar estabilizadas, estas rupturas son un foco para una futura degradación más acentuada, en especial por la acumulación de suciedad y el crecimiento de plantas superiores.

A pesar de la observación de estas alteraciones, no se preveía ninguna intervención del material pétreo más allá de la superficie, puesto que el estado de conservación general de este soporte es estable y no presenta riesgos inminentes para la correcta preservación del monumento.

Capas de superficie

De manera generalizada se observan en superficie importantes depósitos de naturaleza inorgánica (polvo, suciedad, sedimentos, etc.) y orgánica (restos y nidos de insectos, hojas, etc.) con escasa coherencia con el soporte y aportados por el ambiente natural exterior en que se sitúa el monumento.

Destaca especialmente la presencia de un recubrimiento biológico que afecta a casi la totalidad de las caras exteriores de los bloques ciclópeos que conforman la naveta. Esta colonización biológica se compone de varias especies de plantas superiores, líquenes, algas y posiblemente otros tipos de organismos asociados, como bacterias u hongos.

Conviene remarcar que todo este recubrimiento biológico no es en ningún caso una "pátina" o lo que se entiende en conservación del patrimonio como tal. La pátina es la transformación de la superficie de los materiales constitutivos originales, en este caso la piedra, por la acción natural del tiempo y la exposición de los materiales a la intemperie. En el caso que nos atañe, la presencia del recubrimiento biológico no es la pátina de la piedra, sino una capa de superficie de origen biológico que se ha extendido y desarrollado por toda la superficie de la naveta.

La pátina de la piedra, si es que se conserva, estaría por debajo de esta colonización biológica. De hecho, hay ciertas zonas del monumento funerario donde se identifica claramente la presencia de una pátina anaranjada en la superficie de la piedra. Esta pátina también es evidente en el túnel de acceso a la naveta, si bien esta se encuentra pulida por el acceso constante de personas, ahora restringido a investigadores, que es precisamente el hecho que ha impedido el desarrollo de la colonización biológica en esta zona.

¹ Ver SINTES, E.; NICOLAU, A. [eds.] *Guia Menorca talaiòtica. La prehistòria de l'illa*. Barcelona: Triangle Postals, 2015, p. 17-63.

² Ver MORENO, C.; SOLER, S.; ANGLADA, M. *Informe d'afectació relatiu a les pintades en graffiti a la Naveta des Tudons*. Manuscrito no publicado, 2018.

³ Ver WOLBERS, R. *Cleaning Painted Surfaces: Aqueous Methods*. Londres: Archetype, 2000.

⁴ Ver MORENO, C.; SOLER, S.; ANGLADA, M. *Informe d'afectació relatiu...*, p. 7.

Aun así, el aspecto más relevante es la presencia de las mencionadas pintadas efectuadas con aerosol comercial de color negro, que afectaron a 81 de las piedras que conforman la construcción. De manera generalizada, todos los grafitis habían teñido la capa de líquenes o recubrimiento biológico y, puntualmente, llegaban a afectar al soporte pétreo original. **4** [pág. 20]

ESTUDIOS PREVIOS Y PRUEBAS DE LIMPIEZA

Se inicia la intervención con la documentación en 3D del monumento a partir de la obtención de un modelo fotogramétrico de las fachadas exteriores de la naveta. Este modelo ha permitido registrar el estado de conservación inicial del monumento, tanto en lo referente al volumen como a la textura, y ha permitido el estudio comparativo después del proceso de limpieza basándose en ortofotografías. Para la creación del modelo se emplearon 475 fotografías obtenidas con cámara digital Canon EOS 5DS R con sensor CMOS de 50 megapíxeles y una óptica Canon EF 50 mm F/1.2L USM. **5** [pág. 20]

La aproximación al sistema de limpieza con el cual se trabajó se basa en la metodología de trabajo difundida por el Dr. Richard Wolbers y en la aplicación consecuente de los principios de la *green chemistry*. En todo momento se buscaba garantizar el máximo respeto hacia el patrimonio cultural a la vez que se optaba por sistemas de trabajo cada vez más sostenibles.

El primer paso fue la obtención de los valores de pH y conductividad de la superficie de la piedra y los grafitis. El procedimiento consistió en la creación de un gel rígido de agarosa (Type VII-a Sigma Aldrich®) al 5% en agua desionizada para la obtención de varios discos de agarosa de iguales dimensiones (1 mm de grosor y 4 mm de diámetro) para que los valores de lectura fueran comparables entre ellos.

Seguidamente se hizo la aplicación de los diferentes discos de agarosa sobre la superficie de diferentes bloques y recubrimientos (directamente sobre la piedra, sobre el grafiti y sobre diferentes tipos de líquenes) por un periodo de tiempo de 20 minutos para cada uno de ellos. **6** [pág. 20]

Transcurrido este periodo se procedió a la extracción y lectura de la conductividad y del pH de la superficie del monumento con un conductímetro LaquaTwin Horiba® QHB-EC22 y un pH-metro LaquaTwin Horiba® QHB-PH22. Los valores obtenidos son los que se presentan en la tabla, **7** [pág. 21] una vez sustraída la conductividad propia de los discos de agarosa antes de su aplicación.

La conclusión de la lectura de estos valores fue que la superficie del monumento era muy regular y homogénea en términos de pH y conductividad, independientemente del tipo de recubrimiento que presentase. Este hecho seguramente se debe a la acción continuada del viento y la humedad que ambientalmente estabiliza todas las zonas en superficie, a pesar de que correspondan a naturalezas diferentes (líquenes, el aerosol, la misma piedra, etc.).

Sistemas de limpieza a partir de disolventes

Teniendo en cuenta que la pintura en aerosol es de naturaleza orgánica, se procedió a un primer test de disolventes para determinar la solubilidad del material. El procedimiento consistió en saturar previamente la superficie a testar con ciclotetrahidrofuro D5 para evitar que el aerosol rediseñado pudiera penetrar en el sistema poroso de la piedra. A continuación se procedió con el test de varios disolventes (acetona, etanol, isooctano, alcohol bencílico, xileno y varias combinaciones entre ellos).

Estas pruebas daban resultados diferentes en función de si se llevaban a cabo en el aerosol aplicado directamente sobre la piedra o en zonas donde el aerosol había quedado retenido por los líquenes. En el segundo caso, ningún disolvente era capaz de eliminar el aerosol. No obstante, se pudo determinar que el aerosol empleado para atacar el monumento era de base orgánica de xileno y que, por lo tanto, su redisolución requeriría un disolvente relativamente apolar con un cierto contenido de aromáticos. **8** [pág. 21]

Conviene tener presente que las áreas donde el aerosol se encontraba directamente sobre la piedra (sin una presencia de líquenes intermedia) era muy limitada, de forma que las pruebas siguientes se tenían que encaminar necesariamente a atacar los líquenes que encapsulaban la pintura negra y, por lo tanto, se requería una aproximación acuosa.

Sistemas de limpieza a partir de emulsiones acuosas

Inicialmente se procedió a preparar una solución acuosa de borato sódico al 1% y ácido dietilentriaminopentaacético (Na-DTPA) al 1% a un pH de 8,5. La elección de este pH se basaba en el rango de seguridad de la piedra caliza para evitar solubilizar los carbonatos constitutivos. La solución se corrigió a una conductividad de 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para hacerla ligeramente hipertónica respecto a la superficie, pero dentro de unos parámetros de seguridad según las lecturas obtenidas inicialmente.

La solución tampón se gelificó con un 2% de goma xantana para poder hacer emulsiones con los disolventes testados con anterioridad sin necesidad de emplear ningún tensioactivo y, por lo tanto, evitar un posible residuo de estos productos. Se crearon dos emulsiones al 20% en peso de disolvente, una con xileno y la otra con alcohol bencílico, y se testaron con resultados diferentes según la zona de aplicación:

- Sobre las zonas donde el aerosol estaba aplicado directamente sobre la piedra, ambas emulsiones daban unos resultados de remoción muy lentos y considerablemente inferiores al uso del disolvente en estado libre. Si bien disminuían la toxicidad del trabajo para el conservador-restaurador, su uso, en este caso, retardaba el proceso.
- Sobre las zonas donde el aerosol estaba aplicado en áreas con líquenes, se producía cierta remoción del grafiti y del liquen, pero en ningún caso era una remoción total. En función de la zona y, por lo tanto, del tipo de recubrimiento biológico, se podía retirar en mayor o menor grado, pero permanecía un residuo evidente. **9** [pág. 22]

Sistemas de limpieza a partir de soluciones acuosas

De acuerdo con los resultados de estos test, que siguen la lógica habitual para la remoción de grafitis con el máximo respeto hacia los materiales constitutivos de los bienes patrimoniales, se optó por buscar una alternativa completamente acuosa que fuera encaminada al debilitamiento puntual de los líquenes que habían encapsulado el aerosol. Paradójicamente a lo que se había considerado de partida, la operación de limpieza pasaba necesariamente por el tratamiento de los líquenes que retenían la capa de pintura negra.

De este modo se consideró una solución acuosa tampón de borato sódico al 1% y ácido etilendiaminotetraacético (Na-EDTA) al 3% a un pH de 8,5. En estos valores nos mantenemos estables dentro del rango de seguridad de la piedra caliza, actuamos secuestrando los iones metálicos de la tinta del aerosol y a la vez escogemos el EDTA como quelante por su conocida acción inhibitoria de la actividad biológica.⁵ Por eso, la presencia de este quelante en la solución tampón facilita la extracción del aerosol que había quedado atrapado en el recubrimiento biológico.

⁵ Ver SEGURA EGEE, J. J. [et al.] "El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y su uso en endodoncia". *Endodoncia*. Vol. 15 (1997), nº 2, p. 92.

La aplicación en estado libre de esta solución tampón con quelante ya era efectiva, aunque todavía insuficiente para retirar completamente el aerosol. Es por eso por lo que se consideró oportuno aplicarla gelificada para conseguir aumentar el tiempo de actuación.

De los múltiples materiales que nos permitirían gelificar una solución en base acuosa se escogió el agar por varios motivos: económicamente tiene un coste razonable y, en cuanto a la práctica, tiene una aplicación en vertical muy sencilla a pincel mientras el gel está templado y, a la vez, su remoción, una vez formado el gel rígido, es también muy sencilla. Además, el agar tiene un efecto absorbente que facilita la remoción de sustancias de dentro de los poros y también evita la repenetración, puesto que tiende a capturar las sustancias en el interior del gel por capilaridad ¹⁰ y ¹¹ [pág. 21]. Por otro lado, el riesgo de dejar residuos sobre el soporte es ínfimo con este tipo de gel y, en el supuesto de que excepcionalmente pudieran quedar algunos, son completamente inocuos para la piedra y totalmente biodegradables.

Los tiempos de aplicación podían variar en función del grosor y naturaleza de la capa biológica, puesto que la presencia de diferentes tipos de organismos y con diferente actividad hace que la respuesta de estos no sea homogénea. En varias pruebas, se observó que se podían hacer aplicaciones de entre dos y diez horas, a pesar de que resultaba más efectivo repetir aplicaciones en periodos cortos de tiempo.

Microproyección de abrasivos

Por su versatilidad, también se hicieron pruebas de microproyección de abrasivos con un microabrasímetro CTS 1/A con una punta de un diámetro de 1,5 mm que nos permitía regular la presión de proyección de manera precisa, siempre por debajo de los 3 bar.

Se hicieron pruebas directamente sobre áreas sin tratar con resultados aparentemente satisfactorios. Aun así, las superficies con líquenes donde se aplicaba una proyección con presiones inferiores a los 3 bar mantenían el grafito en el interior y, una vez se mojaba la zona tratada, volvía a aparecer la pintada. En consecuencia, un tratamiento abrasivo superficial y suave tenía un efecto cromático satisfactorio pero insuficiente, puesto que no eliminaba el grafito, a pesar de que disminuía la capa de líquenes sobre la cual se encontraba.

Aun así, la microproyección muy puntual y a baja presión en zonas previamente tratadas con la solución acuosa permitía acabar de matizar los pequeños restos de aerosol que pudieran quedar en los poros de más difícil acceso con máximo control y mínimo daño. ¹² [pág. 23]

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REMOCIÓN DE LAS PINTADAS

En base a los resultados de las diversas pruebas y estudios iniciales se consideró abordar la eliminación de las pintadas de la naveta con dos sistemas de limpieza completamente diferentes en función de la presencia o no del recubrimiento biológico.

Zonas donde el grafito vandálico estaba directamente sobre la piedra

Se valoró que la aproximación más eficiente para estos casos, teniendo en cuenta que eran muy puntuales, era la del uso de disolventes apolares aromáticos en estado libre con la superficie previamente saturada con ciclotimona D5.

Zonas donde el grafito vandálico estaba sobre la colonización biológica

En este caso se consideró que la aproximación más segura, tanto para el monumento como para los técnicos que ejecu-

tarían los trabajos y para el medio ambiente, era una combinación de diferentes procesos.

Inicialmente, hacer un cepillado suave de los líquenes de la zona a tratar. Con esta operación, allí donde los líquenes estaban muy secos e inactivos, se facilitaría la penetración de la solución acuosa, a la vez que ya se iniciaba el proceso de remoción. A continuación se procedería con la aplicación de una solución de borato sódico al 1% y Na-EDTA al 3% a un pH de 8,5. Si bien se podía hacer una primera aplicación en estado libre, era interesante aplicar la solución gelificada con agar para incrementar el tiempo de trabajo.

Una vez pasadas unas horas,⁶ se retiraba el gel rígido de agar y se cepillaba la superficie con una solución tampón de enjuagado que no contenía quelante y que era isotónica a la superficie de la piedra. Había zonas que con esta primera aplicación quedaban completamente limpias, mientras que otras aún no. Puntualmente era interesante la ayuda de una limpieza mecánica a punta de bisturí, en especial en las zonas con más grosor de líquenes o allí donde el aerosol había quedado más atrapado (en zonas de porosidad irregular). Con esta primera aplicación se retiraba aproximadamente entre un 50-75% de la pintada.

Era recomendable hacer una segunda aplicación de este mismo procedimiento, pero en este caso solo de manera puntual en las zonas que no hubieran quedado completamente limpias después de la primera aplicación. En las zonas donde se hicieron pruebas, con esta segunda aplicación se retiraba ya entre un 90-100% del aerosol, aproximadamente. ¹³ [pág. 23]

Finalmente, para poder retirar completamente algunas aureolas de la marca que el aerosol dejaba sobre la piedra se podía optar por repetir el mismo procedimiento una tercera vez. Aun así, en esta fase, se consideró que el uso puntual de la microproyección controlada, a una presión baja (1-3 bar) y con un árido menos duro que la piedra caliza (piedra pómez, granalla vegetal, etc.), podía ser suficiente para retirar los últimos restos de aerosol.

Con las pruebas ejecutadas se había comprobado, pues, que para la remoción del grafito vandálico convenía retirar parte de los líquenes que lo habían encapsulado. Hacerlo podía suponer el riesgo de dejar marcada en negativo el área limpiada, donde aparecía la piedra limpia, inmediatamente al lado de zonas sin tratar que conservaban los líquenes. Para minimizar este efecto se recomendaba esta metodología de trabajo que, de manera estratigráfica, permitía al conservador-restaurador controlar los tiempos de aplicación e insistir de manera puntual solo en aquellas zonas que lo requerían.

EJECUCIÓN DE LA INTERVENCIÓN

Después de estudiar las propuestas del informe de las pruebas de limpieza y solicitar varios presupuestos, el Consejo Insular de Menorca adjudicó los trabajos a un equipo de conservadores-restauradores que trabajan habitualmente en la isla (Francisc Isbert, Lina Torres y Cecilia Ligeró) que ejecutaron los trabajos a pie de obra con el apoyo técnico de los conservadores-restauradores a quienes se habían encargado las pruebas previas y bajo la coordinación y supervisión de Pere Rovira, técnico del CRBMC.

La idea de formar un equipo de tres restauradores de la isla se planteó para abaratar gastos y, a la vez, para formarlos y familiarizarlos con este tipo de trabajos de restauración no habituales en la isla, bajo la dirección y coordinación de los dos restauradores que ejecutaron las pruebas de limpieza y

⁶ El tiempo de actuación era variable según el grado de afectación y penetración de las pintadas y el grosor y el tipo de líquen.

que hicieron las visitas de obra. La primera visita se planteó al inicio de los trabajos para acabar de preparar todo el material necesario. Las otras visitas se hicieron durante y al final de la intervención para evaluar los resultados o posibles incidencias que pudieran surgir.

Durante todo el proceso de limpieza se abrió al público la visita al monumento de manera gratuita aunque la gente quedaba fuera del muro que delimita su perímetro por razones evidentes de seguridad.

Los trabajos se distribuyeron por alturas, es decir, una persona del equipo se encargó de los grafitis a los cuales se llegaba desde el suelo, otra con una escalera trabajaba aquellos que se situaban a media altura y la última trabajaba desde la plataforma elevadora en el perímetro más alto de la naveta. **14** [pág. 24] Fue necesario improvisar a pie de obra un pequeño laboratorio con los equipos necesarios de trabajo. Este espacio había que montarlo y desmontarlo cada día y se almacenaba dentro de la misma naveta.

En un primer momento se siguió la propuesta metodológica desprendida de las pruebas de limpieza. No obstante, el gel de agar se secaba excesivamente deprisa y no se conseguía que actuase lo necesario sobre la zona pintada para retirarla bien, al mismo tiempo que quedaba muy adherido sobre el soporte. Este hecho se debía al cambio de las condiciones atmosféricas que hubo entre los días de las pruebas de limpieza y los de la ejecución de la intervención. Mientras que durante las pruebas previas cada día tuvimos un cielo cubierto y un índice de humedad relativa muy alto, alrededor del 85-90%, durante la ejecución de los trabajos el ambiente era completamente primaveral, caluroso, con irradiación solar directa y presencia de viento. Para resolver este imprevisto, se decidió acotar el área de trabajo pintada a pintada. Después de aplicar la solución gelificada se tapaba la zona con film de polietileno transparente cerrando el perímetro con cinta adhesiva. Así se conseguía dar el tiempo suficiente de actuación a la solución acuosa sobre los líquenes con pintadas. En las zonas con mayor incidencia solar fue incluso necesaria la ayuda de parasoles para aportar sombra y minimizar el secado del gel. **15** [pág. 25]

A pesar de que los bloques de piedra de la naveta eran de un mismo tipo de piedra caliza, no todos reaccionaban igual ante el tratamiento de limpieza. El hecho determinante era el tipo de líquenes, el grosor de estos y la cantidad de pintura que habían absorbido en el momento de hacer los grafitis, que no era la misma a comienzos de la línea que al final del trazo.

En las zonas donde la incidencia de la pintada fue muy profunda fue necesario llegar a eliminar completamente el líquen, hecho que comportó la aparición del negativo de la letra o símbolo, puesto que quedaba la piedra limpia. Aun así, la mayoría de zonas de las pintadas quedaron muy bien matizadas con el conjunto sin tener que llegar a retirar completamente la colonización biológica. Se consiguió trabajando de manera muy estratigráfica e individualizada cada letra y actuando solo sobre el grosor específico de la pintada.

Para matizar las pintadas que habían quedado marcadas en negativo después de la limpieza y alguna aureola negra residual, en algunas pintadas se pasó a la segunda fase de ejecución con la microproyección. Durante esta fase fue necesario solucionar algunos inconvenientes con el correcto funcionamiento del microabrasímetro. El aparato se tuvo que modificar y adaptar para poder trabajar satisfactoriamente con las elevadas condiciones de humedad relativa habituales

en la isla. Con esta intervención se consiguió difuminar los perímetros que presentaban los negativos de las zonas pintadas e integrarlos dentro de todo el conjunto de las paredes de la naveta, a través de rebajar sutilmente las áreas de líquenes no tratadas.

CONCLUSIONES

Como conclusiones, cabe destacar que el sistema de limpieza escogido ha sido un método que se ha adaptado perfectamente a la gran dificultad de eliminar grafitis de aerosol sobre un material tan poroso como es la piedra caliza. La intervención requería una solución que eliminara la pintura y que a la vez ablandara los líquenes que habían encapsulado la tinta a su interior. Como la acción de los disolventes era insuficiente, una solución tampón con quelante gelificada fue capaz de secuestrar los iones metálicos presentes en la pintura (ayudando a su disolución por quelación) y, a la vez, fue capaz de inhibir la acción metabólica de los líquenes, hecho que facilitó su remoción.

Con esta metodología no solo se han podido eliminar los grafitis sino que se ha evitado la típica repenetración que se da casi siempre en estos casos. Además, no deja de ser gratificante poder eliminar una sustancia tan compleja e irreversible como es la pintura en aerosol con una solución acuosa, que a la vez que es segura para el restaurador y para el monumento, se encamina hacia las llamadas *safer working conditions* y hacia el *green movement* que se promueven, desde hace tiempo, en nuestro colectivo. Además, la aproximación acuosa y gelificada nos ha permitido trabajar estratigráficamente, controlando la humectación, el pH y la conductividad para que el tratamiento fuera absolutamente respetuoso con el soporte. Al contrario de lo que pasa con los disolventes, el agua permite la modificación de sus parámetros de forma que podemos delimitar su poder solvente e ionizante-disociativo gracias al control del pH y la conductividad.

Además, podemos modificar su poder captador de iones metálicos añadiéndole un quelante en pequeñas concentraciones, evidentemente regulado en una solución tampón para no salir del rango de pH de seguridad del soporte. Por otro lado, el hecho de gelificar la solución de limpieza nos ha aportado todavía más ventajas: en primer lugar, nos ha permitido mejorar el contacto de la solución con la superficie (prolongar el tiempo de actuación y mejorar el poder humectante superficial) a la vez que disminuir la penetración de la solución en el soporte (la difusión vertical). En segundo lugar, nos ha permitido localizar la acción de la solución justamente en las zonas donde había pintura, sin tener que actuar en toda la superficie y evitando las escorrentías que se darían si hubiéramos aplicado la solución de limpieza mediante sustentantes (apósitos). Y por último, el hecho de haber gelificado la solución con un gel rígido nos ha permitido trabajar sin dejar residuos en el sistema poroso del monumento y con una aplicación y remoción sencillas y cómodas, a pesar de tratarse de aplicaciones en vertical. **16** [pág. 26]

IMÁGENES

1 Vista general de la naveta des Tudons antes de iniciar las pruebas de limpieza (Fotografía: Francesc Isbert).

2 Vista aérea del monumento con anterioridad al ataque vandálico (Fotografía: Consejo Insular de Menorca).

3 Imagen de detalle del recubrimiento biológico que afecta de manera generalizada a la piedra (Fotografía: Francesc Isbert).

- 4 Ortofotografías iniciales de las cuatro caras de la naveta obtenidas a partir de un modelo fotogramétrico digital terrestre. Se puede apreciar el alcance de las pintadas en toda la superficie del monumento (Ortofotografías: Aleix Barberà).
- 5 Documentación 3D de la naveta antes de la intervención. Se puede consultar el modelo que se hizo una vez finalizados los trabajos de restauración en <<https://skfb.ly/6HYQx>> o en realidad aumentada en esta misma imagen (Fotografía: Aleix Barberà).
- 6 Obtención de los valores de pH y conductividad de la superficie de la piedra y los grafitis (Fotografía: Aleix Barberà).
- 7 Tabla con la relación de medidas de pH y conductividad de los diferentes puntos de muestreo (Tabla de datos: Aleix Barberà).
- 8 Imagen superior izquierda: saturación de la superficie pétreo con ciclometicona D5. Imagen superior derecha: prueba de limpieza de disolventes en estado libre. Imagen inferior: resultado de las diferentes pruebas en las que se puede apreciar que la remoción solo es efectiva en las zonas donde no hay recubrimiento biológico (Fotografías: Francesc Isbert y Aleix Barberà).
- 9 Imagen durante las pruebas de remoción con la emulsión gelificada de alcohol bencílico. Se puede apreciar que la remoción es insuficiente (Fotografía: Francesc Isbert).
- 10 Imagen durante las pruebas de remoción con la solución tampón gelificada con agar (Fotografía: Francesc Isbert).
- 11 Imágenes de antes y después en las que se señala una de las zonas donde se hicieron las pruebas de remoción con la solución tampón gelificada con agar (Fotografías: Aleix Barberà).
- 12 Proceso puntual de microproyección a baja presión en zonas previamente tratadas con el método acuoso gelificado (Fotografía: Aleix Barberà).
- 13 Imágenes comparativas de antes y después de la intervención en la zona de la entrada (Fotografías: Aleix Barberà).
- 14 Imagen durante los trabajos de restauración en altura con máquina elevadora (Fotografía: Francesc Isbert).
- 15 Detalle de uno de los grafitis durante el proceso de remoción. Se puede observar el gel aplicado y cubierto con film de polietileno (Fotografía: Francesc Isbert).
- 16 Ortofotografías finales de las cuatro caras de la naveta obtenidas a partir de un modelo fotogramétrico digital terrestre. Se puede apreciar que las pintadas han sido eliminadas en su totalidad (Ortofotografías: Aleix Barberà).

BIBLIOGRAFÍA

- ANGELOVA, L. V. [et al.] *Gels in the Conservation of Art*. Londres: Archetype Publications, 2017.
- BAGLIONI, P.; CHELAZZI, D. *Nanoscience for the Conservation of Works of Art*. Cambridge: RSC Publishing, 2013.
- CREMONESI, P. *L'uso dei solventi organici nella pulitura di opere policrome*. Padua: Il Prato, 2000.
- CREMONESI, P. *El ambiente acuoso para el tratamiento de obras policromas*. Padua: Il Prato, 2015.
- CREMONESI, P. [et al.] *Proprietà ed esempi di utilizzo di materiali siliconici nel restauro di manufatti artistici*. Padua: Il Prato, 2016.
- PERICOT, L. *The Balearic Islands*. Southampton: Thames and Hudson, 1972.
- PLANTALAMOR, L.; VAN STRYDONCK, M. *La cronologia de la prehistòria de Menorca: noves datacions de 14C*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació, Cultura i Esports. Govern Balear, 1997.
- WOLBERS, R. *Macroemulsions/Microemulsions workshop: New methods of cleaning surfaces*. Amsterdam: Restauratoren Nederland, Academia Reinwardt, 11-12 de junio de 2012.
- WOLBERS, R. *Cleaning workshop: painted surfaces, aqueous methods*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 25-27 de enero de 2016.
- WOLBERS, R. *IPCE Cleaning workshops: General aqueous methods, gel forming materials, emulsions, micro-emulsions, particle emulsions and solvent gels*. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España, 12-16 de diciembre de 2016.
- WOLBERS, R. *General cleaning materials and methods for wall paintings*. Barcelona: CRBMC, 22-24 de marzo de 2018.