

Patologías y restauración del basamento de granito del cerramiento de la Biblioteca Nacional de España y el Museo Arqueológico Nacional¹

Fernando Sánchez Cuadrado
Estudio Sánchez Gil Arquitectos

Emilio Sánchez Cuadrado
Estudio Sánchez Gil Arquitectos

Emilio Sánchez Gil
Estudio Sánchez Gil Arquitectos

RESUMEN. El conjunto formado por la Biblioteca Nacional de España y el Museo Arqueológico Nacional cuenta con un cerramiento formado por una destacada reja de fundición apoyada en un basamento de sillares de granito que presentaba graves patologías que ponían en riesgo tanto la seguridad de los transeúntes como la conservación del bien, que obligaron a su restauración durante el año 2018. Los daños más conocidos y evidentes eran los derivados del empleo de mortero de limaduras de hierro y azufre sin batir entre los sillares, y que había sido objeto de numerosos estudios específicos y propuestas parciales de intervención. Por otra parte las columnas de fundición experimentaban un importante desplome hacia el interior de la parcela, acentuado en los tramos centrales de los paños, como consecuencia de la ausencia de juntas de dilatación, y al estar la verja encastrada en el zócalo granítico impidiendo su movimiento, que provocaba la aparición de tensiones en los puntos de empotramiento manifestadas como fisuras y fracturas, en algunos casos muy importantes.

Palabras clave. Granito. Patología. Azufre. Restauración. Biblioteca Nacional.

1. Este documento tiene como punto de partida la memoria realizada como recopilación de las obras de emergencia del cerramiento, SÁNCHEZ GIL, E., SÁNCHEZ CUADRADO, E. Y SÁNCHEZ CUADRADO, F. *Memoria técnica de las obras de consolidación y restauración en el cerramiento exterior completo de la Biblioteca Nacional de España y Museo Arqueológico Nacional*. Madrid, Ministerio de Cultura y Deporte, Gerencia de Infraestructuras y Equipamientos de Cultura, noviembre de 2018.

Debido al deficiente estado de conservación que presentaba el cerramiento del conjunto formado por la Biblioteca Nacional de España y el Museo Arqueológico Nacional, a finales de enero de 2018, y ante el riesgo real de colapso parcial, con posibilidad de causar graves daños tanto a los usuarios y trabajadores de estas instituciones o transeúntes unas calles muy concurridas, y para garantizar la preservación del Bien de Interés Cultural, se decretó la emergencia de las obras de restauración y consolidación², que se desarrollaron, con un plazo muy ajustado, entre los meses de febrero y noviembre de 2018.

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

El Palacio de Biblioteca y Museos Nacionales, denominación original del edificio que alberga en la actualidad la Biblioteca Nacional y el Museo Arqueológico Nacional, nace en la segunda mitad del siglo XIX del interés de reunir en un solo espacio, como máximo exponente del conocimiento, una serie de colecciones muy variadas a manera de “gabinete de curiosidades”, y albergar la gran cantidad de volúmenes y documentos que conformaban la antigua Biblioteca Real. En 1862, se había decidido su construcción en un solar del Estado, sede de la antigua Escuela de Veterinaria y que había estado ocupado por el gran Convento de los Agustinos Recoletos o de Copacabana, situado entre el recientemente finalizado paseo de Recoletos y el nuevo barrio de Salamanca. Las obras, se iniciaron en abril de 1866, y en el transcurso de las mismas se decidió integrar el nuevo Museo Arqueológico Nacional, aunque con bastante menos espacio del inicialmente previsto, al ampliarse de manera notable la zona ocupada por la biblioteca, y finalizaron con una inauguración de carácter formal en 1892.

El proyecto original fue redactado por Francisco Jareño, autor de algunos de los edificios más importantes realizados en Madrid durante el reinado de Isabel II: la vecina Casa de la Moneda, el Instituto de San Isidro, el Tribunal de Cuentas del Reino, el Hospital del Niño Jesús y el Instituto de Enseñanza Secundaria Cervantes, siendo el edificio que nos ocupa su obra más destacada, en el que se ejemplifica su estilo clasicista con influencias de Schinkel, junto con elementos eclécticos y un evidente interés por la arquitectura del hierro fundido. Durante los dieciocho años en que

dirigió las obras (pues fueron finalizadas por Antonio Ruiz de Salces, con importantes modificaciones sobre el diseño original en los niveles superiores), se construyó, entre los años 1877 y 1878, el cerramiento completo de la parcela, tal y como queda atestiguado en las inscripciones existentes en las pilastras de hierro fundidas por parte de la empresa Goitia de Beasaín (fig. 1A).

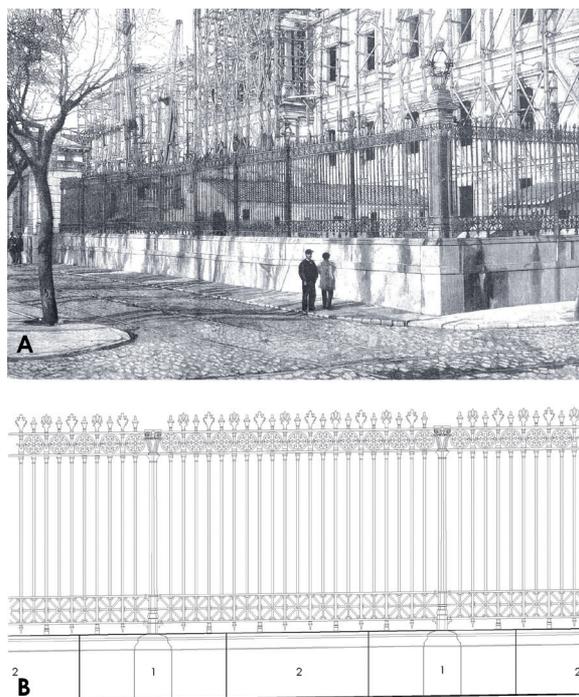


Figura 1. A) Caldevilla: “Estado de las obras de la fábrica del edificio “Biblioteca y Museos Nacionales” (fachada del paseo de Recoletos)”, publicada en *La Ilustración Española y Americana*, año XXXV, número XX, de 30 de mayo de 1891. B) Módulo base del cerramiento Fuente: Sánchez Gil Arquitectos.

La división administrativa del conjunto casi desde su origen entre los dos organismos que lo ocupan, Biblioteca Nacional y Museo Arqueológico Nacional, ha motivado que la evolución, no sólo de las distintas zonas del edificio, sino del cerramiento perimetral, haya sido muy desigual en cada una de las partes, con criterios de actuación y de mantenimiento muy dispares. Entre las distintas intervenciones que afectaron al cerramiento podemos destacar la eliminación de los remates de la reja (y posterior recolocación de réplicas en sólo una de sus zonas), la apertura de nuevas puertas para vehículos y achaflanado de esquinas en el paseo de Recoletos, la distinta profundización de los patios ingleses laterales junto a las calles de la Armada Española y Juan de Villanueva que obligaron a realizar importantes recalces, así como diversas intervenciones de restauración en 1982 y 2000.

2. *Declaración de emergencia de la ejecución de obras de consolidación y restauración en el cerramiento exterior completo de la Biblioteca Nacional de España y Museo Arqueológico Nacional, así como la dirección facultativa y coordinación de seguridad y salud de las mismas*. Madrid, Gerencia de Infraestructuras y Equipamientos de Educación y Cultura, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 29 de enero de 2018.

CERRAMIENTO

El cerramiento tiene un desarrollo lineal de 659 m, con tramos continuos máximos, sólo interrumpidos por dos pilastrones de mayores dimensiones, de 195 m en la calle Villanueva y 165 m en la calle de la Armada Española. En la calle Serranos la longitud es de 144 m mientras que en el paseo de Recoletos es de 133,70 m, si bien se encuentran interrumpidos por las puertas de acceso a cada una de las instituciones, una en el primer caso y dos en el segundo, flanqueadas por garitas a la manera de templetos con ventanas rasgadas a modo de aspilleras, realizadas en piedra caliza de Colmenar.

El basamento está realizado con granito con textura fanerítica, holocristalina, heterogranular, hipidiomorfa y tamaño de grano medio predominante (cristales comprendidos entre 1 y 5 mm), de tipo biotítico-cordierítico³ que se puede clasificar como un granito monzonítico, procedente de la sierra de Guadarrama, del berrocal situado en los municipios de Alpedrete, Villalba, Becerril, Moralarzal y Cerceda⁴. Está formado por plagioclasa fundamentalmente cálcica con borde albitico zonada y saussuritizada, feldespatos potásico de naturaleza peritítica, cuarzo monocristalino de extinción recta o ligeramente ondulante, biotita abundante, cordierita muy alterada a pinnita en las zonas de junta, moscovita de carácter secundario, así como zircón, monacita, rutilo, apatito e ilmenita como principales minerales accesorios.

Desde el punto de vista constructivo está formado por dos hiladas de sillares de granito, la inferior parcialmente enterrada al haberse elevado las rasantes originales mientras que la superior es la que propiamente forma el zócalo en el que apoya la reja de fundición. Se trata básicamente de piezas talladas de grandes dimensiones, aproximadamente 1,15 m de altura, un ancho de 45 cm, y un largo que varía entre 1,75 y 1,95 m (según el ancho del módulo en cada caso), con sencilla moldura superior, alternándose dos tipos de piezas (fig. 1B): las piezas donde anclan las pilastras de fundición (1), que además del tallado longitudinal, presentan un ligero regresamiento en la cara exterior con el fin de resaltar la pilastra, ordenar el muro, y a la vez, reforzar la capacidad resistente del empotramiento, y las piezas intermedias

(2), de sección uniforme y en el que suelen anclarse de los barrotes intermedios.

PRINCIPALES PATOLOGÍAS

Roturas del empotramiento de las pilastras en las basas

La patología más grave para la seguridad del bien y de los viandantes que motivó la declaración de las obras de emergencia era la falta de estabilidad de la reja de cerramiento, muy apreciable a simple vista, vencida hacia el interior de la parcela y aunque en algunos casos se observó la rotura asociada al apoyo de una de las fijaciones intermedias, los principales daños se concentraban en la zona de anclaje de las pilastras en el basamento de granito, afectando a 84 sillares "de columna" del total de 153 unidades, tanto por la cara exterior como interior (fig. 2 A-C):

- 3 Uds se encontraban completamente reventadas.
- 14 Uds presentaban grandes daños como fractura completa de lascas, grietas longitudinales, etc, implicando importantes riesgos.
- 21 Uds tenían daños importantes con necesidad de cosido.
- 24 Uds presentaban fisuras que precisaban de cosidos puntuales.
- 22 Uds presentaban daños importantes, situadas en la zona del M.A.N. debieron ser reparadas mediante cosidos. Algunas de ellas mostraban nuevas fisuras.

Originalmente la reja estaba concebida como un mecano, de manera que si bien las columnas estaban empotradas en el basamento de granito, los paños intermedios se fijaban en las anteriores mediante bulones, de manera articulada y permitiendo las dilataciones. Con el paso del tiempo, bien debido a la corrosión, bien a desafortunadas intervenciones de restauración en las que se había procedido a su bloqueo mediante la aplicación de resinas epoxídicas, estas juntas de dilatación habían desaparecido, funcionando la reja de cada fachada como un gran paño.

Tras realizar un análisis histórico de posibles afecciones, y evaluando todas las posibles causas, se procedió a efectuar levantamientos exhaustivos de la inclinación de todos los elementos a lo largo de las distintas fachadas, en los que quedó patente una relación evidente entre los desplomes y la longitud de los tramos de reja, de manera que el problema era casi inexistente en los tramos que quedan partidos por los templetos y puertas de acceso del paseo de Recoletos, ligero en las zonas centrales situadas entre la puerta

3. NAVARRO GASCÓN, J.V, PEREZ GARCÍA, P.P Y SÁNCHEZ AMATRÍA, A. *Estudio de los procesos de alteración en el zócalo granítico de la valla perimetral de la Biblioteca Nacional* (informe inédito), Madrid, Instituto del Patrimonio Cultural de España, 2007, p.15

4. Escrito de D. Juan Martínez Baeza, contratista de las obras de albañilería y cantería del muro de verja que rodea al edificio de la Biblioteca y Museos Nacionales al Excmo. Sr. Director General de Obras públicas. 18 Diciembre de 1877, recogido en NAVARRO, J.V., 2007, p. 92.

y cada una de las esquinas en la calle Serrano, y mucho más importante en los grandes lienzos de calles Armada Española y Villanueva (acentuados por la presencia de los patios ingleses). La gran longitud de la verja, sin discontinuidades efectivas de la parte alta había provocado que, al estar la verja inferiormente encastrada en el zócalo de granito, la dilatación solo se manifestase en la parte superior, produciendo un desplome hacia el interior en los tramos centrales de los paños metálicos y, en menor medida, inclinaciones del basamento granítico, motivando la aparición de tensiones en los puntos de empotramiento, que han sido la causa de las fisuras y fracturas, en algunos casos muy importantes.

A nivel teórico, si considerásemos un elemento continuo, la dilatación máxima del tramo

de 195 metros de verja de fundición, considerando unos saltos térmicos de 60°C , conservadores, sería de 12,4 cm, mientras que la del granito es muy inferior, provocando un desplazamiento horizontal de las pilastras de las zonas centrales de unos 5 cm. En las mediciones en obra se comprobó que los valores reales eran mucho más elevados. El desplazamiento horizontal de la parte superior de la pilastra debido a la dilatación crea un par resistente de fuerzas en el empotramiento en el sillar que provoca tensiones que conducen a la rotura de la pieza al superar su capacidad resistente, fracturando el sillar y liberando completamente el giro del elemento metálico que pasa a funcionar como una articulación (fig. 3A).



Figura 2. A-C) Detalles de basas fracturadas. D) Detalle de la corrosión de la camisa de hierro del pilastrón este de la calle de la Armada Española.

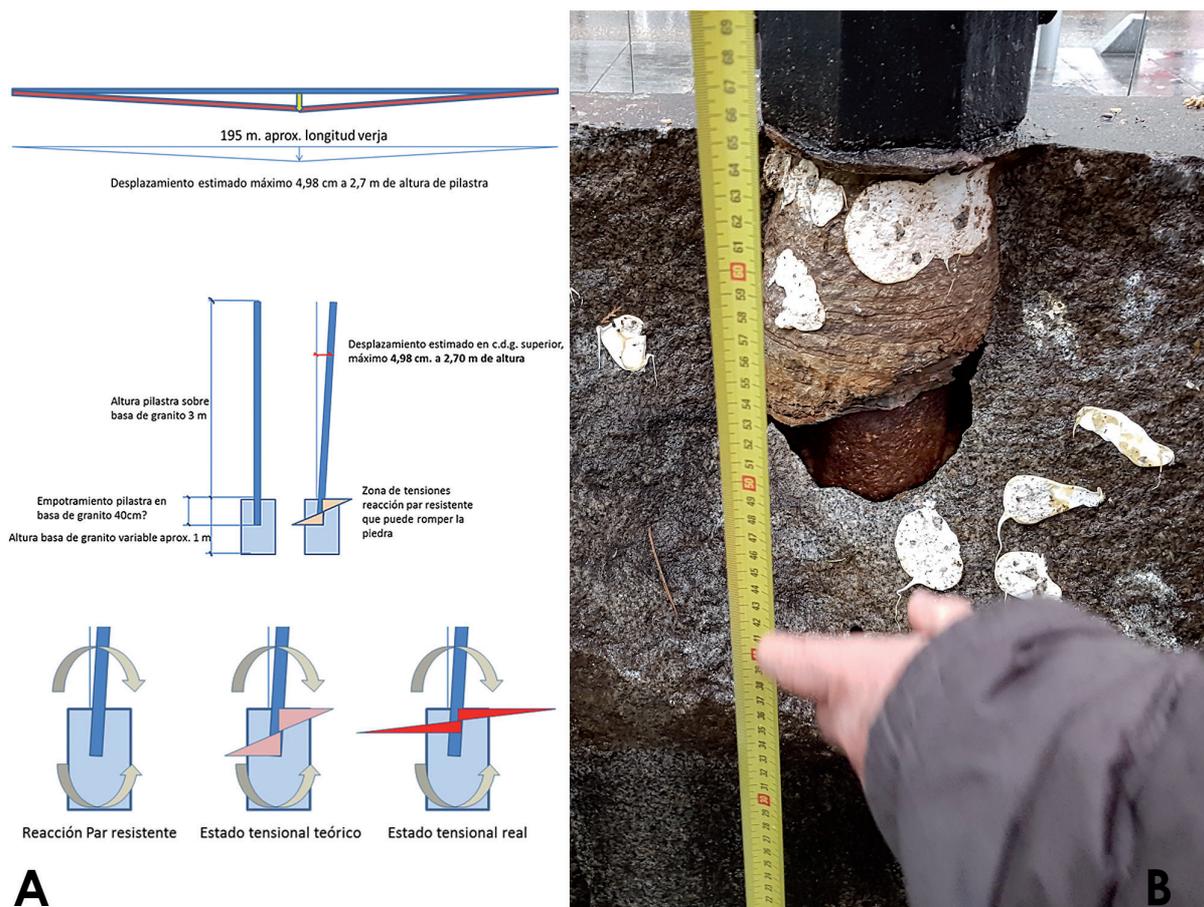


Figura 3. A) Estudios de los efectos de la dilatación de la fachada norte, y esquemas de las tensiones generadas. Fuente: R7 Consultores, *Informe técnico sobre el estado de conservación de la valla de cierre del conjunto Biblioteca Nacional*. B) Detalle del anclaje de la pilastra 13-D, una vez retirada la lasca, donde se aprecia que la colada de plomo no colmata la cavidad de anclaje. Las manchas blancas corresponden al adhesivo de una intervención anterior.

En el caso de los sillares intermedios, los daños son menores, si bien se aprecian problemas de fisuras longitudinales, generalmente junto a los pies derechos de apoyo de la reja metálica. Consideramos que están provocados por posibles movimientos de la misma y/o dilataciones debidas a corrosión o en un número muy importante de los casos, al calentamiento del plomo mediante soplete, que se realizó en las intervenciones anteriores de 1982 en B.N.E. y 2000 en M.A.N., en las que se procedió a retirar la totalidad de los paños de la reja con la finalidad de proceder a su restauración en taller y que a nuestro juicio, provocó una grave alteración del granito.

Para verificar el sistema original de empotramiento de las pilastras en las basas del zócalo se procedió⁵ a retirar dos de las piezas parcialmente desprendidas, comprobándose que las lascas estaban completamente fracturadas excepto por zonas

muy puntuales que las mantenían en su posición, y que la rotura no era reciente debido a la alta presencia de contaminación en las juntas. Además se apreció que los vástagos de fijación de las pilastras (fig. 3B), de hierro, tienen un diámetro de 7 cm, se introducen en una cavidad de forma troncocónica, con una profundidad de unos 36 cm, un diámetro superior de 13 cm e inferior de 22 cm, de manera que para nivelarlos provisionalmente se utilizó el yeso encontrado en la parte inferior, que en ese momento estaba completamente disgregado debido a la presencia de agua y óxidos, para posteriormente realizar la fijación mediante el sellado de plomo colado desde la parte superior. Según se pudo determinar, la colada alcanzaba aproximadamente unos 16 cm de profundidad antes de solidificar, por lo que la cavidad interior quedaba, aproximadamente, en su mitad inferior vacía, con una capacidad próxima a los 3 dm³ (dato que se pudo corroborar en la totalidad de la obra mediante el control de las inyecciones). Por todo lo anteriormente expuesto las columnas quedaban sujetas exclusivamente por la capa de

5. R7 CONSULTORES, *Informe técnico sobre el estado de conservación de la valla de cierre del conjunto Biblioteca Nacional – Museo Arqueológico Nacional, en Madrid, Madrid, 2017*

plomo, de manera que se limitaba a menos de la mitad la zona de fijación, y por tanto, el par de fuerzas que se ejercía en el granito por parte del vástago de fijación era al menos el doble del previsto en el diseño original, lo que acarrearía que la estructura de la roca no pudiera resistir las tensiones, fracturando generalmente en la cara exterior al inclinarse las columnas hacia el interior, al no resistir las tracciones generadas.

Los sillares que presentaban mayores desplazamientos y grietas, que llegaban a la fractura total, eran los correspondientes a los pilastrones intermedios de la calle Armada Española, en los que, debido a los daños que presentaban y los gravísimos riesgos que implicaban, se optó por su sustitución completa. En este caso, el proceso patológico que habían sufrido tenía su origen en el propio diseño y construcción original, que es sensiblemente diferente al caso de las pilastras sencillas, y con un problema igualmente de diferente naturaleza. El pilastrón anclaba con un machón central (fig. 2D) de unos 20 x 20 x 30 cm que empotraba en la basa de granito, a través de una camisa metálica recibida originalmente con mortero de azufre y, aparentemente, yeso. En la parte superior se observaban pequeñas coladas de plomo originales. Se detectó igualmente la presencia de numerosos restos de reparaciones anteriores, con lechadas de cemento, hormigón, silicona, resinas, todas ellas totalmente ineficaces. La corrosión de esta camisa de hierro - acero (que aumenta de volumen hasta 10 veces y genera tensiones de hasta 400 Kg/cm²) es lo que probablemente provocó la fractura de la basa de granito, tras la cual, cualquier mínimo desplazamiento de la pilastra habría producido los desplazamientos observados en obra, al comportarse como una simple articulación.

Daños en las juntas de granito

Las patologías más conocidas y evidentes del cerramiento del conjunto B.N.E.-M.A.N. eran las derivadas del empleo de mortero de limaduras de hierro y azufre sin batir en las juntas del basamento de granito del cerramiento, que había sido objeto de numerosos estudios específicos y propuestas parciales de intervención⁶.

6. C.P.A. CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARTÍSTICO *Informe sobre la restauración del cerramiento del Museo Arqueológico de Madrid* (informe inédito), Madrid, 1998. MUÑOZ CEBRIÁN, J.M "Fenómenos biogeoquímicos de las rocas monumentales. Biblioteca Nacional y Museo Arqueológico Nacional", *Ingeniería Civil*, Madrid: Ministerio de Fomento, nº129, 2003. LABORATORIO DE CONTROL DE MATERIALES DE CLAR REHABILITACIÓN *Estudio de los morteros del zócalo del museo arqueológico nacional de Madrid* (informe inédito redactado a petición del I.P.H.E), Madrid, 2004? Y NAVARRO GASCÓN, J.V, 2007.



Figura 4. A) Junta profundamente alterada con descohesión granular y costros generadas por el ataque químico. B) Vista interior del cerramiento de la calle Armada Española donde se aprecia que el ataque químico comienza a afectar a los sillares inferiores, y se generan pátinas de compuestos de hierro.

La mayoría de las juntas aparecían abiertas y dañadas (fig. 4A), incluso aquellas que habían sido rejuntadas en anteriores reparaciones, y variaba con anchos de 1-2 cm en las menos deterioradas con desarrollo más lineal, y en las más degradadas, de más de 15 cm, extendiéndose a los sillares laterales alterando gravemente la roca. Por otra parte, realizando una comparación con los informes previos y fotografías históricas, se detectó que era un proceso que se estaba acelerando exponencialmente de manera muy notable en las últimas décadas. Por otra parte, se detectó que igualmente se estaba propagando en vertical al sillar inferior por arrastre del agua de lluvia, iniciando el proceso químico y provocando tinciones muy apreciables en los muros de los patios ingleses por compuestos férricos (fig. 4B).

De acuerdo con los estudios previos, atendiendo a la intensidad de la afección, y en una escala del 1 al 4, el porcentaje de llagas profundamente degradadas (grado 1) era del 43,1%, deterioradas (grado 2) del 28,4%, incipientemente alteradas

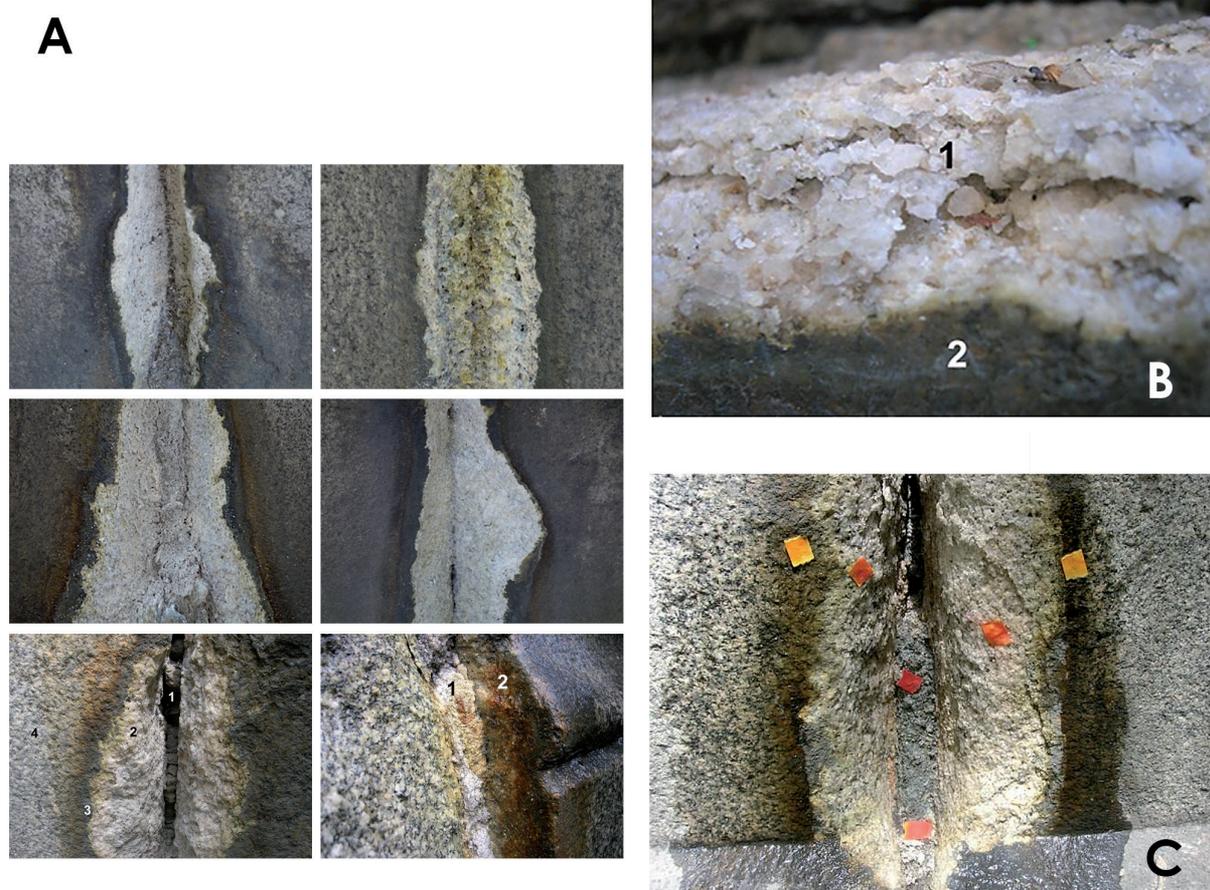


Figura 5. A) Junta Detalles de alteración de las juntas. B) Detalle de la descohesión del granito, la alteración de los minerales melanocráticos y la generación de costras derivadas del ataque químico. C) Variación de valores del pH de una junta ya intervenida, con valores de 1 en el centro, valores intermedios de 4 y valores en el exterior de 6.

(grado 3) del 16,3% y sanas (grado 4) del 12,1%, en este último caso coincidente casi completamente con las reposiciones con mortero de cemento realizadas en los accesos rodados a la Biblioteca Nacional. Otros aspectos destacables eran que, en líneas generales, el grado de deterioro de las juntas en el exterior de la valla era similar al observado en el interior y que la mayor o menor intensidad con que se presentaban las alteraciones no guardaba relación alguna con la orientación de las distintas fachadas.

En áreas próximas a las juntas entre sillares el granito aparecía profundamente degradado (fig. 5A), caracterizándose esta alteración por un importante lavado catiónico (Mg, Fe y Al) propio de medios con fuerte acidez, la existencia de sulfatos de diversa naturaleza interestratificados en los planos de exfoliación de algunos minerales, y por la existencia de una red de microfracturas. Mostraba una alteración variable que, esquemáticamente, se podía englobar en las siguientes clases⁷:

- Con carácter general se observa a ambos lados de la junta un cambio de coloración consistente en que todos los minerales melanocráticos, principalmente biotita y cordierita, mostraban un color más claro que el original y que estaba acompañada de descohesión granular (fig. 5B), microdescamación y apertura de las uniones intercristalinas.
- En las zonas en las que la extensión de la afección era menor se observó la aparición de tonos amarillentos, más intensos cuanto más próximos a la junta, pero en los que todavía se mantenía una buena cohesión de los cristales.
- En la zona de contacto con el mortero aparecía una banda de tonalidad anaranjada con un espesor máximo cercano al centímetro, que con frecuencia era simultáneo con el amarilleamiento de la roca.

7. NAVARRO, J.V., 2007, pp.6-7

Por otra parte, se realizó en el laboratorio del I.P.C.E.⁸ un estudio de las costras que habían aparecido a ambos lados de las zonas alteradas, dispuestas de manera simétrica o, más frecuentemente asimétrica, con coloración marrón oscura a verdosa, espesor variable, textura desde lisa a rugosa y que lateralmente pasaban de una tinción superficial que progresivamente iba dejando ver la textura cristalina del granito, en los que se determinó la presencia de diversos sulfatos como componentes principales, con presencia de sulfato potásico-férrico (jarosita), sulfato aluminico (alunógeno) y sulfato potásico-aluminico.

Igualmente se habían realizado durante los estudios previos medidas del pH (fig. 5C) en las juntas alteradas, observándose una disposición simétrica con relación al centro de la junta, donde el granito estaba descohesionado y con coloración blanquecina de pH 1, con un aumento de los valores hacia el exterior en apenas 20 cm, de manera que en las zonas próximas donde aumentaba la cohesión y la biotita no aparecía alterada, el pH era de 3 y 4, y en las costras exteriores variaba entre 5 y 6.

La causa de este proceso de alteración tenemos que buscarlo en el mortero que se utilizó para el rejuntado, un mastic de azufre con limaduras de hierro, práctica común en el momento de la construcción. Según alguna documentación mencionada en el estudio del Archivo General de la Administración de Alcalá de Henares, se habla de que "(...) En cuanto al relleno de las juntas de la segunda hilada, debe en efecto hacerse tal como se propone en la Memoria, verificando la mezcla con esmero para evitar los efectos del apelo-tonamiento del azufre, lo que produciría el astillado en las juntas"⁹, corroborándose en otro documento con fecha de 24 de marzo de 1879, en el que al mencionar los sellados de las garitas se menciona que "Para evitar la posible filtración de las aguas por las juntas de las dovelas y escalinatas en estas casetas, si se emplease un mortero ordinario se ha dispuesto que este sea el que tan excelentes resultados nos viene dando en esta construcción compuesto de azufre y limaduras de hierro"¹⁰.

Esta solución se valoraba positivamente debido a su notable capacidad adhesiva y su relativa facilidad para ser trabajada en comparación con un mortero de cal convencional, puesto que se vertía

fundida a 270° y solidificaba por debajo de 112°C, obteniéndose una goma elástica amarillenta.

Se identifican dos posibles mecanismos de progreso de la alteración, y que posiblemente funcionen de manera simultánea:

- Mecanismo inorgánico, que implicaría la formación de ácido sulfúrico en presencia de agua que reaccionaría con los minerales silicatados, produciéndose posteriormente la precipitación de costras al cambiar las condiciones de acidez. En los ensayos realizados en laboratorio se constató la rápida alteración del hierro en forma de oxihidróxidos y sulfuros de hierro en presencia de azufre en medio acuoso. La evolución del sulfuro de hierro en medio oxidante conduciría a la formación de ácido sulfúrico y la posterior formación del conjunto de fases sulfatadas descritas.
- Actuación de microorganismos¹¹ que metabolizan compuestos de azufre y compuestos ferrosos, como atestiguan algunas formas vermiformes, tubulares y filamentosas de origen orgánico, observadas mediante microscopía electrónica.

Durante los estudios del I.P.C.E. se realizaron pruebas para la eliminación, sustitución o neutralización del ataque químico de los compuestos causantes de la alteración del granito con distintos morteros, todos ellos infructuosos. A la vista de los resultados, al comienzo de la presente intervención, quedó claro que ninguna de las intervenciones realizadas había sido efectiva al haber penetrado el proceso en el interior de la roca mientras que, una vez iniciado el proceso, el mismo se aceleraba de manera exponencial.

Ya en las conclusiones del informe¹² redactado en 2007 por el I.P.C.E. se menciona como una de las dos posibles soluciones (la otra era el estudio de nuevos morteros, que como acabamos de mencionar, no había dado resultados positivos):

Corte vertical de una banda de granito, de 10-20cm de espesor, en torno a cada junta, y reposición con granito nuevo (o piedra artificial). Este tipo de operación, aunque constituiría una solución definitiva, supone, al margen de su coste económico, la introducción de cambios radicales en la estética de la valla.

Tras la consulta y análisis de toda la documentación previa y haber mantenido conversaciones con personal del I.P.C.E. que estuvo implicado en los estudios para sustituir los morteros de azufre por otras soluciones, se consideró como única solución

8. *Ibidem*, pp.41-81

9. Escrito del presidente de la Junta de Bibliotecas y Museos Nacionales al Excelentísimo Sr. Director General de Obras Públicas, Comercio y Minas, recogido en NAVARRO, J.V., 2007, p. 92

10. *Proyecto para la construcción de aceras, pisos de entrada por las puertas de la verja, y otras obras necesarias*, 24 de marzo de 1879, documento nº1 Memoria, recogido en NAVARRO, J.V., 2007, p. 93

11. MUÑOZ CEBRIÁN, J.M, 2003 p.106

12. NAVARRO, J.V., 2007, p.90

válida a largo plazo, la realización de los cortes en el muro a ambos lados de la junta, sustituyendo las zonas afectadas por el ataque ácido por nuevas piezas de granito similares a las originales.

INTERVENCIÓN

Reparación y refuerzo del empotramiento de pilastras

Como se ha mencionado anteriormente, el origen de la patología se encontraba en el bloqueo de los puntos de dilatación de la reja, de manera que se comportaba como un único paño, siendo la primera medida y más obvia, garantizar los desplazamientos tolerables en los pasadores.

Por otra parte, como se ha comentado, la solución de la colada de plomo desde la parte superior para fijar las pilastras al granito no tenía la suficiente penetración, reduciendo la zona de anclaje a menos de la mitad de la originalmente prevista. Por este motivo se consideró indispensable la propuesta de inyectar los bulbos, de manera que la distancia del par resistente fuera la originalmente proyectada, 36cm, aumentando el área de contacto en una superficie casi cuatro veces mayor y desplazando el punto de tracciones a una zona en la que debido a la molduración del basamento, el espesor del granito es muy superior, al tratarse del paño vertical, con todo el ancho de la pieza.

Tras analizar diversas posibilidades para la inyección, se comprobó que debido a la presencia de yeso disgregado, óxido y arena en la parte inferior, el producto a emplear debía tener una fluidez tal que penetrara en la materia anteriormente mencionada, unificándola. Las lechadas de cal (los morteros propuestos no permitirían la fluidez necesaria ya no sólo para consolidar los restos interiores sino siquiera entrar en el interior de la cavidad) no garantizan ni la resistencia ni la estabilidad a largo plazo necesaria, máxime en las condiciones no controladas del interior de las cavidades, con óxidos, yesos disgregados y presencia de agua (previa a la intervención actual). Tras proceder a realizar pruebas con distintos tipos de mortero (SikagROUT 213, epoxídicos de distinto tipo...), el único que garantizaba la fluidez y consistencia necesaria era la resina Sikadur 52 inyección, de tipo epoxi bicomponente líquida de muy baja viscosidad y con alta capacidad de penetración en huecos, agujeros y fisuras, de manera que en las pruebas previas realizadas prácticamente por gravedad y con mecanismo tipo cartucho de sellados, se inyectaron del orden de 3 l de resina con valoración muy satisfactoria al generar un bulbo perimetral que lograba colmar todos los huecos accesibles hasta la parte superior.

Por lo tanto, en los casos en los que los sillares no presentaban grietas o fisuras que se pudieran traducir en fugas de la resina, se realizó un primer taladro por la cara interior de 12 mm de diámetro, necesario para encajar un tubo flexible transparente de 10 mm. El taladro se realizó centrado con el eje, a unos 30 cm del arranque superior de la pilastra y sensiblemente horizontal, con una ligera inclinación, perforando hasta la base de granito. En los casos en los que existía contrafuerte de hormigón por el interior se realizó junto a la esquina del mismo, acometiendo hacia el centro y una vez soplado para eliminar restos, se colocó y selló con silicona neutra el tubo de inyección. En otros casos, se comprobó que la introducción del tubo quedaba perfectamente ajustada al taladro y no era necesario el sellado. Posteriormente se realizó un segundo taladro a modo de testigo de la inyección en la cara exterior, también de 12 mm, a unos 23 cm de la parte superior, e inclinado unos 15°, perforando hasta topar con el vástago de acero y colocando también el tubo plástico transparente para poder verificar por vasos comunicantes el llenado del interior. Una vez protegidas las zonas de inyección para evitar posibles manchas se procedía a la mezcla de la resina y a su inyección, con especial cuidado de la temperatura ambiente y el tiempo de fraguado, aplicando una ligera presión, hasta que se alcanzaba en el testigo el nivel previsto (unos 10 cm por debajo de la parte superior de la piedra. Tras el endurecimiento de la resina se procedió a retirar el tubo y se optó por aprovechar los taladros de inyección para disponer sendas varillas roscadas de acero inoxidable de 8 mm de diámetro, que reforzaran la capacidad resistente del sillar de granito, sin tocar el vástago de fundición, dejando un revestimiento exterior de unos 20-30 mm libres, que permitiera posteriormente a los especialistas su taponado con mortero de restauración de cal de Morón, aditivado con árido negro en planta para garantizar la reintegración cromática, tras la limpieza de la pieza (fig. 6).

En cuanto a los casos en los que existían grietas, fisuras o lascas, previamente se realizaba un sellado con masilla plástica, de fácil retirada posterior sin dejar ningún tipo de residuo, de manera que la fluidez de la resina inyectable garantizaba la penetración completando la fijación de la pieza, y finalmente se aplicaba mortero de restauración de cal con árido negro para mimetizar la fisura. En los casos de lascas completamente desprendidas, previamente se procedió a su limpieza con un cepillado de alambre fino sin erosionarlas, eliminando el polvo superficial para, posteriormente, proceder a la colocación de la lasca de piedra en su posición y sujeción con gatos que garantizaran su inmovilidad completa, dispuestos sobre dos tablas de reparto que redujeran el riesgo de rotura para posteriormente aplicar el protocolo anteriormente descrito.

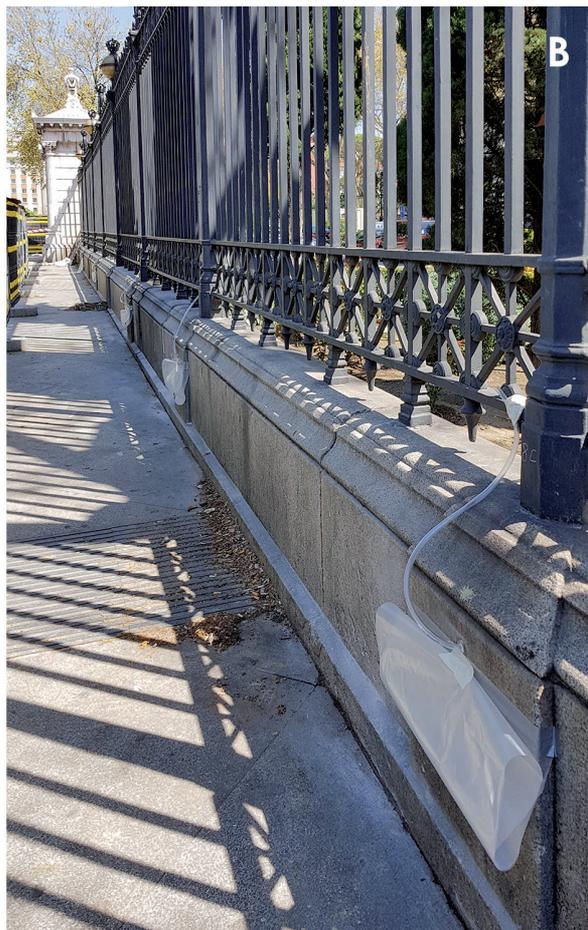
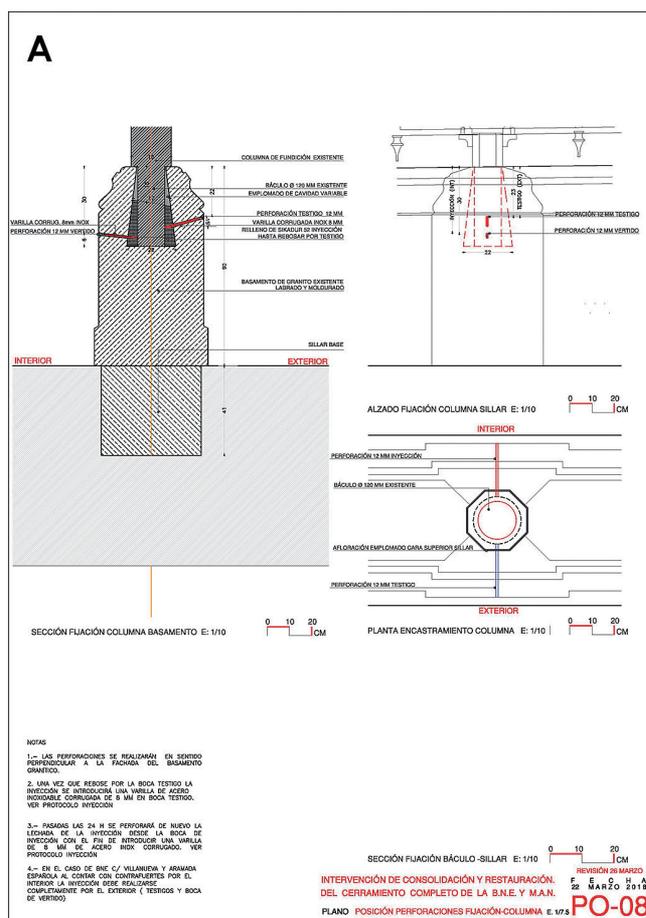


Figura 6. A) Plano de detalle del sistema de inyección para mejorar el anclaje de las pilastras. Fuente: Sánchez Gil Arquitectos B) Detalle del proceso de inyección en el paseo de Recoletos.

Sustitución de juntas dañadas

La sustitución de las zonas de junta de los sillares de granito, 15 cm a cada lado de las mismas, a la vista de los estudios e informes previos se planteaba como única solución posible para garantizar la conservación del bien cultural a largo plazo, dado que ninguna de las numerosas pruebas de contención o neutralización del ataque químico habían funcionado. Sin duda, se trataba de una solución muy comprometida y quirúrgica, tanto por la alteración visual del basamento como por el número total de piezas a colocar, 359, en unas calles y unas instituciones muy concurridas. En cualquier caso, se decidió no desmontar la reja, dado que al aumento de plazos se añadía la comprobación de la existencia de patologías en el granito directamente derivadas del proceso de extracción en intervenciones de restauración pasadas.

Para poder realizar los cortes en primer lugar fue precisa la realización de una serie de labores previas que permitieran la ejecución, entre las

que se encontraba el desmontaje de las piezas de la acera, exterior e interior en las zonas que disponían de las mismas, correspondientes al área de corte de las juntas, el rebajado del nivel de tierra en las zonas de jardines con retirada y posterior replantado de setos, el desmontaje de instalaciones de iluminación, armarios y arquetas de instalaciones, aparcabicicletas, marquesina y puerta de paso al patio norte de B.N.E., carteles anunciadores del M.A.N., tótem, red de riego por goteo, etc. Además, en las zonas de patios ingleses fue necesaria la realización de un andamiaje que permitiera el acceso a las zonas afectadas.

Se realizaron previamente dos pruebas de corte, buscando el sistema más eficaz y de menor impacto para el edificio. En primer lugar se analizó la posibilidad de utilizar hilo diamantado que implicaba la realización de anclajes al sillar para la fijación de la sierra de hilo, y de un taladro de aproximadamente $\varnothing 50$ mm en la zona inferior para el guiado del mismo, obteniéndose un plano de corte de aspecto rudo, por lo que fue descartado. El corte con sierra radial de grandes

dimensiones ofrecía mejores resultados pero implicaba la realización de anclajes al sillar, y dado que no se contemplaba el desmontaje de los paños de la reja se dificultaba el proceso, produciendo una pequeña incisión en la parte superior del sillar inferior, estrecha y controlada¹³.

Una vez retirado el primer sillar se comprobó que, en algunos casos, en la zona ya supuestamente saneada se observaba la existencia de áreas en las que el granito, si bien presentaba su estructura interna aparentemente inalterada, mostraba un color amarillento debido a la penetración por los poros del mismo del ataque del azufre (fig. 7B), con profundidades superiores a los 15 cm. Posteriormente, según se procedió a retirar otras zonas afectadas, se comprobó que esta situación era mucho más frecuente en la zona del Museo Arqueológico Nacional (fig. 7A), posiblemente debido a la aplicación de agua a presión en las intervenciones de CPA de 1998-2000 que movilizaron los compuestos de azufre en profundidad, aumentando gravemente el deterioro de los sillares. Tras realizar consulta a José V. Navarro en la visita que el I.P.C.E. realizó el 3 abril de 2018 sobre la posibilidad de utilizar como indicaba en su documento de 2007 un mortero con SikalateX, consideró como mejor solución la utilización de una resina tipo epoxi, para evitar el contacto entre la zona afectada y el aire / agua, dado que en las zonas en las que no tenía contacto con los mismos, el granito mantenía intacta su estructura interna. Finalmente se optó por la utilización de imprimación epoxi Sikaguard-62, que tiene resistencia a ataques químicos medios, incluidos los de ácido sulfúrico y sulfuroso, exclusivamente en las zonas que presentan afectación visual, procediéndose en todos los casos al rejuntado entre los nuevos sillares y los antiguos con mortero de cal de Morón en las zonas exteriores y lechada del mismo mortero, para garantizar su entrada, en las zonas interiores. Una solución similar se ha utilizado en la junta inferior de asiento de los sillares, para evitar nuevos ataques por capilaridad.

Se comprobó, tras realizar una inspección visual completa del cerramiento, tanto interior como exterior, que, en general, con un corte de 15 cm a cada lado de la junta (30 cm en total), resultaba suficiente en la gran mayoría de los casos para el saneado completo de la zona exterior afectada por el deterioro físico-químico, aunque se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, que determinaron en cada caso concreto

si resultaba suficiente con realizar un pequeño desplazamiento lateral de la zona de corte manteniendo el ancho total previsto o era preciso realizar una intervención mayor:

- a) Se dejaron al menos 5 cm de separación entre el corte y el pie derecho de la verja.
- b) Existían piezas en las que la superficie deteriorada tenía claramente mayor extensión.
- c) Se detectó la existencia puntual de sillares con roturas en las zonas de junta.
- d) En algún caso, debido a los propios ajustes dimensionales de la reja el corte coincidía en vertical con una macolla, que debía ser retirada para su posterior reposición.

Tras realizar un vallado exterior e interior de la zona afectada delimitando el área de trabajo, que minimizara las molestias sobre la vía pública, se procedía a la fijación de las sierras de corte radial mediante anclajes mecánicos en los sillares del basamento, siempre en la zona de la junta a desechar posteriormente (fig. 7C), de manera que no implicara ningún tipo de daño para las piezas que se iban a conservar, en general desde el exterior dado que el resultado era mucho más preciso en la cara de ataque, dado que inevitablemente las vibraciones e irregularidades propias del sistema motivaba que en la cara opuesta existieran ligeras desviaciones, del orden de 5mm. Se realizaba un primer corte guía con radial de disco de $\varnothing 50$ cm sustituyéndose posteriormente por el de $\varnothing 130$ cm, La parte inferior del disco se situaba inicialmente 20 cm por debajo de la cota inferior del sillar, y mediante su avance horizontal se realizaba el corte principal que provocaba una sección de unos 16 cm en el sillar inferior que en los casos vistos, debía ser reparada posteriormente. Finalmente desde el lado contrario se realizaron los cortes finales con radial manual con disco de 25 cm de radio y se procedía a la retirada por canteros de las zonas afectadas, comprobando en cada caso concreto si las zonas interiores presentaban color amarillento evidenciando la penetración por los poros del azufre. Por otra parte, la zona de junta horizontal con el sillar inferior presentaba, además de restos de mortero de cal, abundante presencia de fragmentos de azufre y limaduras de hierro (fig. 7D). Finalmente se procedió a la retirada completa de los mismos, saneando completamente la cara superior del sillar y eliminando de manera efectiva todos los restos de mortero.

13. Las muestras de corte se presentaron a los técnicos del IPCE en su visita del día 3 de abril de 2018



Figura 7. A) Relleno de junta con mastic de azufre y penetración de los compuestos en el interior del sillar. B) Presencia de compuestos de azufre en los poros del granito en zonas en las que éste mantiene su cohesión, a más de 15cm de la junta original. C) Sistema de anclaje de las sierras radiales en las zonas previamente afectadas por el ataque químico. D) Detalle de la machihembra original y restos del mastic de azufre y limaduras de hierro.

En cuanto a la elección de la procedencia del granito empleado para las nuevas piezas, resulta preciso recordar el carácter de emergencia de las obras, de manera que los plazos, al ser absolutamente improrrogables, jugaron un papel fundamental en la toma de decisiones¹⁴. Si bien en un primer momento se planteó la utilización de granito de las canteras de Alpedrete, casi con total seguridad procedencia original del basamento, actualmente se encuentran en unos casos agotadas, y en otros, con explotación de carácter familiar, de manera que en ningún caso podrían afrontar el suministro del volumen de piedra que la obra planteaba. Igualmente se barajaron otras procedencias de la sierra de Guadarrama (Zarza-lejos, El Escorial, Cadalso de los Vidrios (fig. 8C), que diferían completamente del granito existente en color y granulometría. Finalmente se optó por utilizar piezas extraídas en el Cerro Alto de Quintana de la Serena (fig. 8A). Los criterios seguidos para su elección fueron los siguientes:

- Similitud visual con el original (limpio e inalterado), tanto en muestra abujardada como pulida, pero sin ser absolutamente mimético. Se buscó que a media y larga distancia no distorsionara la imagen del cerramiento, que debía seguir siendo unitaria, mientras que a corta distancia pudiera diferenciarse por un ojo experto, para identificar las piezas intervenidas (fig. 8B).
- Su elevada homogeneidad y compacidad.
- Posibilidad de suministro del volumen precisado en la obra, con los ritmos necesarios.

Por otra parte en la reunión mantenida con el IPCE se mencionó la conveniencia de que el tratamiento final superficial a aplicar, tanto en las piezas originales como en las repuestas, fuera el mismo para garantizar procesos de envejecimiento similares al actual, tal y como se ha realizado en esta obra¹⁵. Por lo tanto, una vez llevados a cabo todos los trabajos, se procedió a realizar una limpieza completa de la costra debida a la

contaminación, de yeso y jarosita, mediante proyección de silicato de aluminio, dado que las microesferas de vidrio (fig. 8D) recomendadas eran arrastradas incluso tras realización de un encapsulado total y aspiración, provocando riesgos de caídas a los peatones.

Se realizaron las plantillas de corte necesarias teniendo en cuenta la adecuación real de las mismas a los sillares, dado que existían ligeras diferencias de molduración entre las distintas fachadas, incluso en distintos tramos de un mismo paño, al haberse labrado por sistema manual tradicional. Las piezas se tallaron mediante máquinas de control numérico y fueron colocadas, en general, desde el exterior, por parte de cuadrillas de canteros experimentados, procurando que las juntas con los sillares adyacentes fueran homogéneas, y con un ancho de 5-10mm a cada lado para el posterior rejuntado. En algunos casos, debido a las pequeñas irregularidades provocadas por el sistema de corte, fue precisa una relabra manual de las mismas.

Para evitar el deterioro del nuevo mortero de asiento y posibles ataques por capilaridad a la nueva pieza se optó por una imprimación de la cara superior del sillar inferior con el mismo producto empleado en las protecciones laterales de las zonas afectadas, Sikaguard-62.

El rejuntado lateral de las nuevas piezas, que sustituían a las juntas eliminadas contaminadas por el azufre, con las originales, se realizó con mortero de cal de Morón 1:4 o 1:5, con un color específico, más parecido al tono del granito, formulado especialmente para esta intervención. En la zona superior se dejó una abertura o bebedero, por dónde una vez secas las juntas, se procedió al vertido de una lechada fluida del mismo mortero de cal de Morón en color natural, hasta rellenar y garantizar la completa penetración en los espacios interiores entre el sillar nuevo y el original, sin llegar hasta el borde, dejándolo a unos 2cm de éste. Finalmente se procedió a finalizar el rejuntado superior con el mortero anteriormente mencionado. Cada siete módulos aproximadamente se dejó una junta de dilatación entre el nuevo sillar y el original de 8 mm.

Los sillares originalmente presentaban una machihembra para mejorar la estabilidad del conjunto. Inicialmente se propuso unir los nuevos sillares de aproximadamente 30 cm de ancho, tanto a los laterales como a los situados en la hilada inferior, mediante la realización de un cosido diagonal en los tres ejes espaciales, que fijara su posición. Sin embargo, se comprobó en obra la dificultad de ejecución de los mismos, y que la estabilidad quedaba perfectamente garantizada mediante un único anclaje al sillar inferior, mediante una barra corrugada de acero inoxidable de 84 cm y 10 mm de espesor por la cara

14. NAVARRO GASCÓN, J.V. *Valoración de distintos tipos de granito como material de reposición para el zócalo de la valla del Museo Arqueológico Nacional y Biblioteca Nacional de España* (informe inédito), Madrid, I.P.C.E., mayo 2018. Cuando se remite a la Gerencia de Infraestructuras el día 22 de mayo la decisión ya estaba tomada más de un mes antes, y la fabricación de la primera tanda de piezas estaba muy avanzada, colocándose el día 4 de junio.

15. NAVARRO GASCÓN, J.V. *Evaluación mediante microscopía electrónica de barrido de las pruebas de limpieza del granito del zócalo de la valla del Museo Arqueológico Nacional y Biblioteca Nacional de España* (informe inédito), Madrid, I.P.C.E., mayo 2018. Cuando se remite a la Gerencia de Infraestructuras el día 22 de mayo la decisión ya estaba tomada más de un mes antes, y la fabricación de la primera tanda de piezas estaba muy avanzada, colocándose el día 4 de junio

interior del muro situado en la zona central de la moldura inferior, y con una inclinación respecto a la vertical de 30° fijado con resina tipo

Sikadur-42 dejando un revestimiento exterior de unos 20-30 mm con mortero de restauración de cal de Morón (fig. 9).

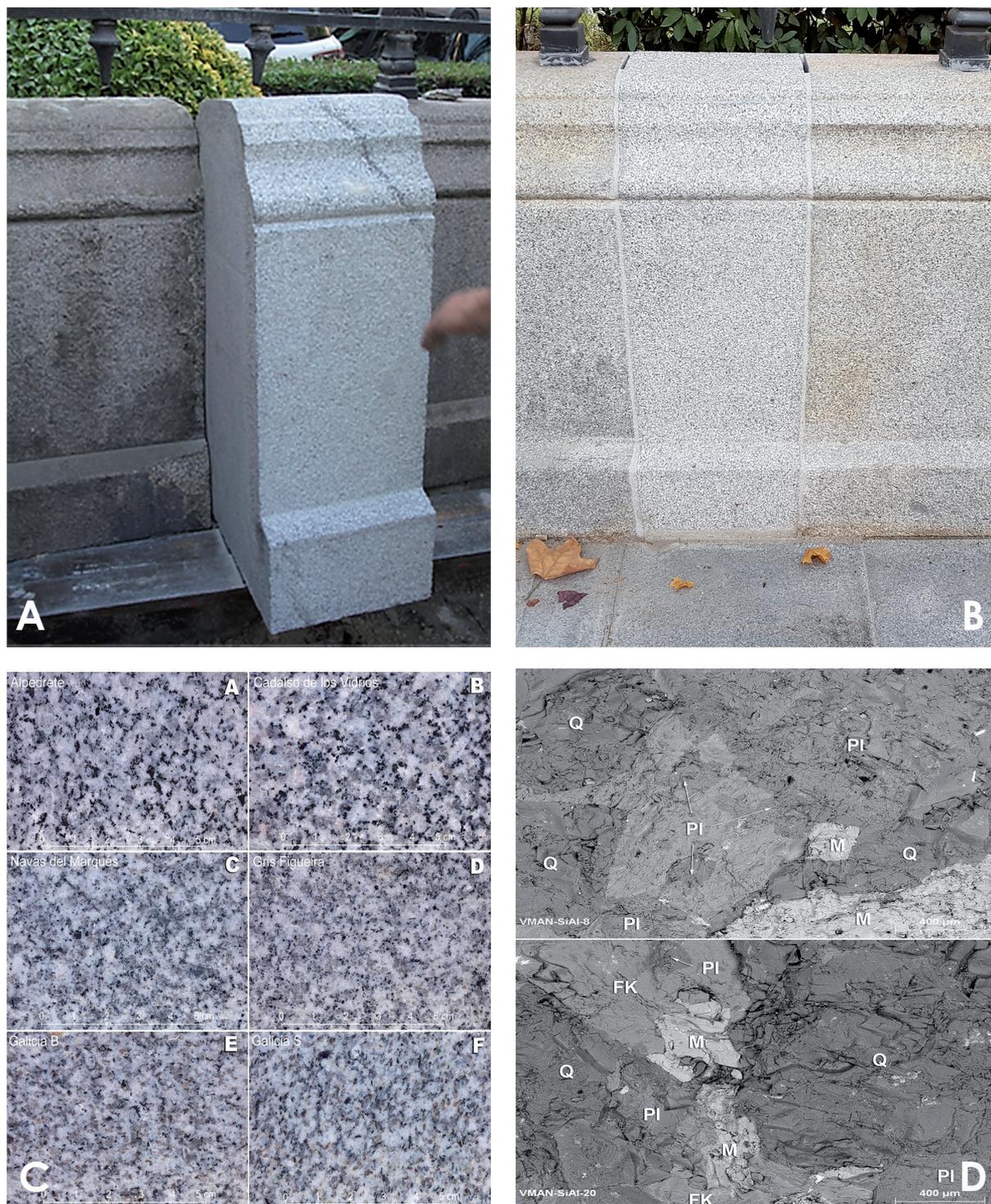


Figura 8. A) Colocación de nueva pieza de granito de Quintana, previa a la limpieza general. B) Sillar tras la limpieza de las costras de contaminación, evidenciando una ligera diferenciación cromática con las piezas originales y rejuntado con mortero de cal a falta de lechada interior. C) Estudio de visu sobre muestra pulida de algunos de los granitos contemplados y la distribución de los granos de biotita. D) Detalle de limpieza mediante proyección de silicato de aluminio mediante microscopía electrónica de barrido acoplada con un sistema de microanálisis mediante espectrometría de dispersión de energías de rayos X (SEM-EDX).

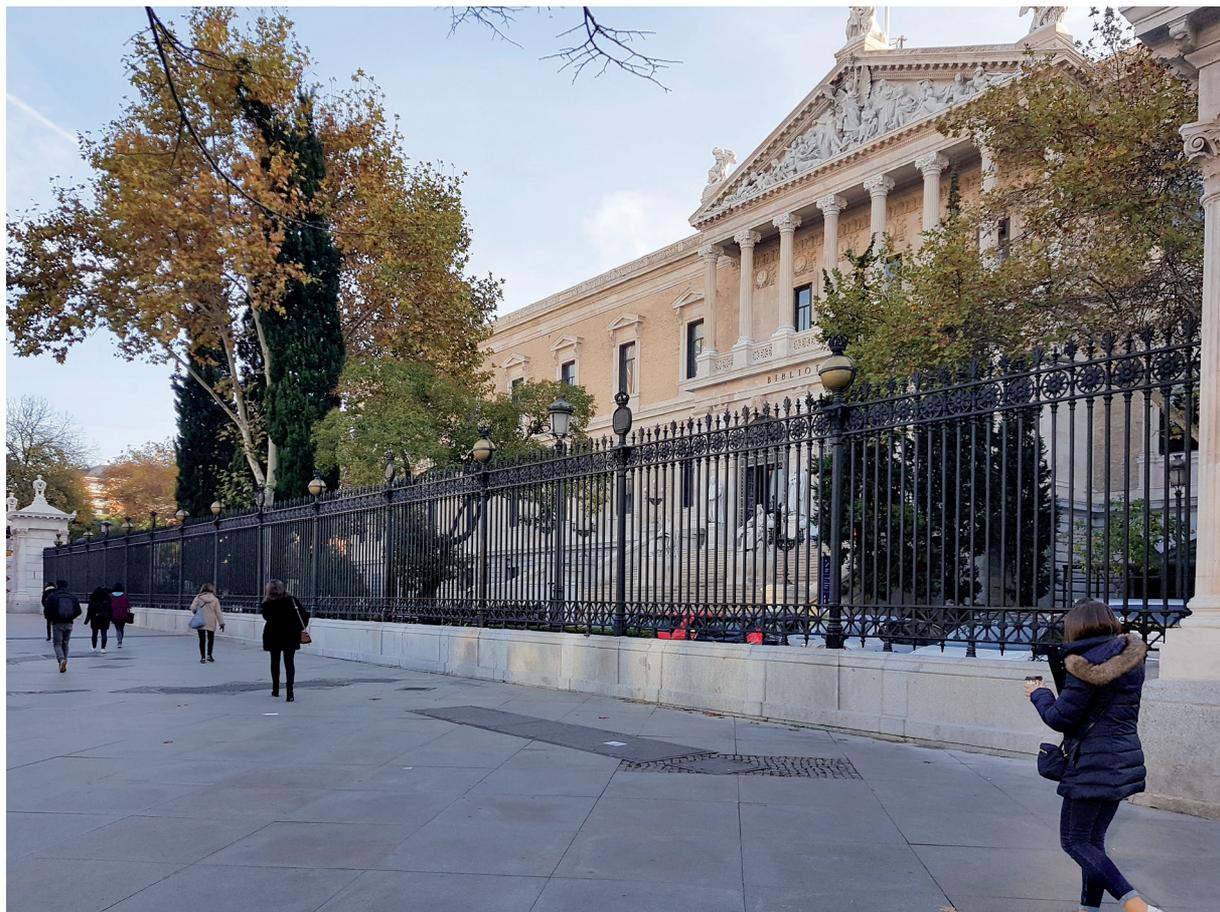


Figura 9. Zona central de la fachada del paseo de Recoletos. Estado final.

REFERENCIAS

- C.P.A. CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARTÍSTICO *Informe sobre la restauración del cerramiento del Museo Arqueológico de Madrid* (informe inédito), Madrid, 1998.
- LABORATORIO DE CONTROL DE MATERIALES DE CLAR REHABILITACIÓN *Estudio de los morteros del zócalo del museo arqueológico nacional de Madrid* (informe inédito redactado a petición del I.P.H.E), Madrid, ¿2004?
- MUÑOZ CEBRIÁN, J.M “Fenómenos biogeoquímicos de las rocas monumentales. Biblioteca Nacional y Museo Arqueológico Nacional”, *Ingeniería Civil*, Madrid: Ministerio de Fomento, nº129, 2003.
- NAVARRO GASCÓN, J.V, PEREZ GARCÍA, P.P Y SÁNCHEZ AMATRÍA, A. *Estudio de los procesos de alteración en el zócalo granítico de la valla perimetral de la Biblioteca Nacional* (informe inédito), Madrid, Instituto del Patrimonio Cultural de España, 2007.
- NAVARRO GASCÓN, J.V. *Evaluación mediante microscopía electrónica de barrido de las pruebas de limpieza del granito del zócalo de la valla del Museo Arqueológico Nacional y Biblioteca Nacional de España* (informe inédito), Madrid, I.P.C.E, mayo 2018.
- NAVARRO GASCÓN, J.V. *Valoración de distintos tipos de granito como material de reposición para el zócalo de la valla del Museo Arqueológico Nacional y Biblioteca Nacional de España* (informe inédito), Madrid, I.P.C.E, mayo 2018.
- R7 CONSULTORES, *Informe técnico sobre el estado de conservación de la valla de cierre del conjunto Biblioteca Nacional – Museo Arqueológico Nacional, en Madrid* (informe inédito), Madrid, 2017.
- SÁNCHEZ GIL, E., SÁNCHEZ CUADRADO, E. Y SÁNCHEZ CUADRADO, F. *Memoria técnica de las obras de consolidación y restauración en el cerramiento exterior completo de la Biblioteca Nacional de España y Museo Arqueológico Nacional*. (documento inédito). Madrid, Ministerio de Cultura y Deporte, Gerencia de Infraestructuras y Equipamientos de Cultura, 2018.