

Componentes de piedra natural en la arquitectura funeraria

Esp. Arq. Jorge L. Mendez

INTRODUCCIÓN

Mar del Plata es de por sí, proveedora de material pétreo de manera directa, aunque solo en parte (cuarzo areniscas).

En cualquier obra de construcción intervienen los materiales pétreos en diferentes escalas. Nuestro caso de análisis no es la excepción a las reglas. Es fácil determinar en su constitución la presencia de diferentes rocas que son utilizadas de diferentes maneras. Las piedras o rocas de por sí, representan (entre otras cosas) la solemnidad y la perdurabilidad de aquellos que merecen ser recordados por largo tiempo. En el cementerio de la LOMA se encuentran presentes varias de las rocas naturales que fueron elegidas para ese fin y me interesa rescatar.

El artículo clasifica las rocas en tres grupos, (ígneas, metamórficas, sedimentarias), intentando un ejemplo en cada una de ellos, además de ensayar un posible tratamiento de restauración (reintegración o sustitución) y la elección de un sistema de protección.

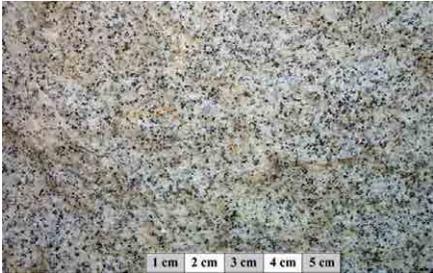
CLASIFICACIÓN

Me interesa rescatar los grupos de rocas, de modo de iniciar una clasificación general que ayude a reconocer el lugar que ocupa cada una de las piedras halladas en el lugar de estudio.

Las rocas pueden ser clasificadas de la siguiente manera, ROCAS IGNEAS, ROCAS SEDIMENTARIAS y ROCAS METAMORFICAS.

Las Rocas IGNEAS o MAGMATICAS, tienen lugar debido a la solidificación de material fundido en el interior de la tierra. Aquellas que, fundidas, se enfrían camino a la superficie terrestre (cercana a la corteza), adoptan el nombre de **plutónicas – cristalinas (granitos)**. Y las que se enfrían o solidifican sobre la superficie terrestre se denominan **volcánicas – vítreas**.

Las rocas SEDIMENTARIAS provienen de la degradación de otras rocas, por acción del viento, el agua o el hielo. Se dividen en **detríticas** y **No detríticas**. Las primeras son originadas por el sedimento de otras rocas que se obtiene mediante su transporte en algún medio (por ej: acuoso). Las no detríticas son las que se forman a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas o bien por acumulación de sustancias de origen orgánico. Las arcillas, la roca caliza, los conglomerados, están en este grupo.



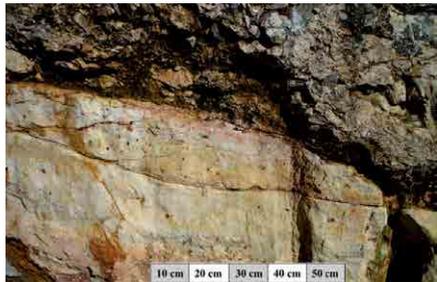
Granito Gris



Granito Rosa



Conglomerados



Caliza



Mármol



Pizarra

Las rocas METAMORFICAS por su parte son las que se forman a partir de rocas que ya son preexistentes (Ígneas o sedimentarias) por el aumento de temperatura y presión por procesos geológicos. Estos procesos generan modificaciones que provocan cambios en sus minerales y composición química. Este proceso se realiza en estado sólido, es decir, que no llega a fundirse la roca. Forman parte de rocas metamórficas, los mármoles y las pizarras.

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS POR TAMAÑO DE CLASTOS

Es posible también generar una clasificación por sus componentes. Como se dijo en el párrafo anterior, las rocas están compuestas de fragmentos o clastos de minerales preexistentes. De acuerdo al tamaño en mm de estos componentes, se puede ensayar una categorización. La tabla que fue utilizada es la que esta reglada por las Normas DIN 4022 que entre conceptos establece que:

Suelo grueso: se considera un suelo grueso cuando la cantidad en porciento de la fracción de arcilla (con diámetros de partículas $d < 0,063$ mm) es menor a 5%. Con fracciones grava, arena y piedras.

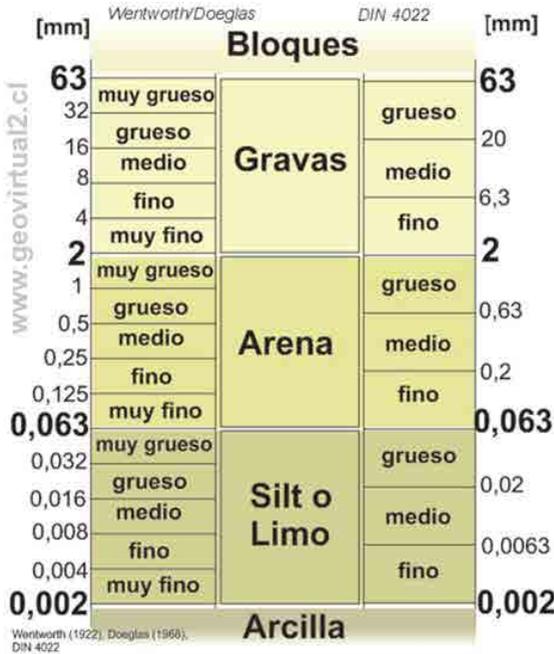
Suelo medio grueso (mezclado): se considera un suelo medio grueso –mezclado cuando la cantidad en porciento de la fracción de arcilla (con diámetros de partículas $d < 0,063$ mm) yace entre 5% y 40 %. Y cuando las fracciones no adhesivas del suelo determinan su comportamiento. Con fracciones grava y arena. Cuando las fracciones adhesivas determinan el comportamiento del suelo puede determinarse con un diagrama de plasticidad si se trata de un limo o una arcilla.

Suelo fino: se considera un suelo fino cuando la cantidad en porciento de la fracción de arcilla (con diámetros de partículas $d < 0,063$ mm) es mayor a 40 %. Con fracciones de Limo y Arcilla principalmente. Las fracciones adhesivas determinan el comportamiento del suelo y puede determinarse con un diagrama de plasticidad.¹

El artículo identifica componentes de piedra en el Cementerio de La Loma. Luego de una recorrida se detectaron pétreos de características diferentes, que se clasificaran de acuerdo a lo expresado con anterioridad.

GRANITOS

El granito es una roca ígnea plutónica formada esencialmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas y mica. Este tipo de rocas al estar por debajo de la superficie terrestre están sometidas a presión. Esa coacción hace que los componentes crezcan muy unidos logrando una baja o nula porosidad.



El granito negro varía en sus características de acuerdo al modo de enfriamiento, recordemos que las rocas ígneas se enfrían al llegar a la corteza terrestre (desde grandes profundidades) y es posible que lleguen a ella de manera diferente, por lo que las peculiaridades del material estarán de acuerdo al modo en la que bajo su temperatura (de allí la diversidad de colores – de grises a negro).

La familia de granitos es una roca resistente a las inclemencias del tiempo y es un material noble a los golpes, comportándose de buena manera a la compresión, flexión y desgaste, por ello su elección para diferentes usos, entre los cuales se encuentran los conmemorativos. *El granito negro es de estructura óptica. Cristales alargados de plagioclasas se mezclan con piroxeno monoclinico y guardan una distribución similar a la de otras rocas intrusivas.*²

Argentina tiene la posibilidad de abastecer el mercado interno de granito, aunque es posible que lo haga con rocas de tonos grisáceos o rojos extraídos en canteras a cielo abierto en el centro de la provincia de Bs As y sierras de Córdoba. La roca de color negro normalmente es importada de nuestro país vecino Brasil.



Foto 1. Bóveda de granito Negro



Foto 2 Frente de granito

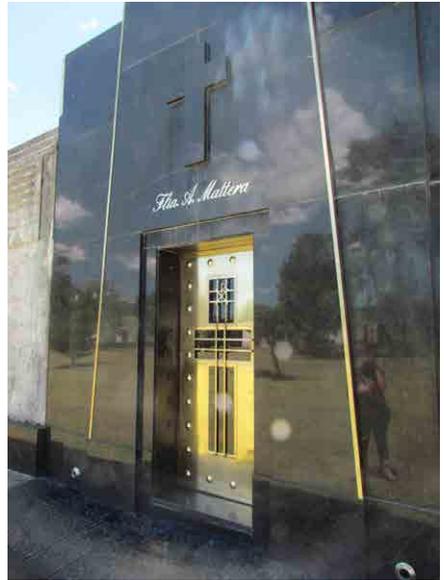


Foto 3 Granito combinado c/ bronce



Foto 4 Pieza de Granito – ver trozos de mica, cuarzo y cristales

La mezcla de minerales como cuarzo y mica es claramente identificable en las piezas de análisis que fueron elegidas (ver foto 2-3). La mica, el cuarzo y los cristales prismáticos generan en la pieza de granito, un juego de luces que lo hace característico de la pieza. Teniendo en cuenta que de acuerdo a su formación es la característica, será difícil considerar piezas con la misma composición. (Foto 4)

MÁRMOLES

El mármol es una roca **metamórfica** compacta, que se formaron a través de otra roca – caliza- compuesta en su mayoría por carbonato de calcio al 90% (CaCO_3), siendo el 10% restante de otros componentes son los que le otorgan variedad de colores. (wollastonita, grafito, clorita, talco, mica, cuarzo, piritita, corindón, granate o zirconita).

El mármol surge de la degradación de otros cuerpos (esqueletos y conchas marinas) que han solidificado con el tiempo a base de presión. La dureza del mismo es de menor cuantía que las otras rocas (granito) y eso le otorgó la posibilidad de que sea utilizado desde la antigüedad en diferentes esculturas, cuestión que se sigue manteniendo en estos tiempos.

El mármol de Carrara es conocido como uno de los mármoles más preciados por su blancura, casi sin vetas, y de grano fino, de aspecto harinoso, es lo que facilita su tallado. *El mármol Blanco de Carrara es de color gris claro y el diferente valor de sus principales sub-variedades depende sustancialmente del color de fondo. Básicamente, se pueden distinguir tres subvariedades en función del tono cromático de la masa de fondo o matriz: C, C / D y D.³ (foto 1 y 2).*

Su mayor componente blanco hace que el “carrara blanco” (Bianco Carrara), sea el más abundante, el que más fácil se extrae, el más económico y por ende el de más fácil ingreso al país por sus costos (década del 40-50).

La identificación entre granito y mármol puede resolverse mediante la utilización de ácido debido a que la reacción obtenida en cada una de ellos es diferente. Ante una gota de ácido el mármol reacciona con espuma, mientras que el granito se mantiene inalterable, corroborando su dureza.

Ante la porosidad de este material es fácil identificar deformaciones ocasionadas por el permanente transitar sobre el mismo, notorio en los umbrales de ingreso o escalones transitados.



Foto 1 - Bóveda revestida en placas de Mármol

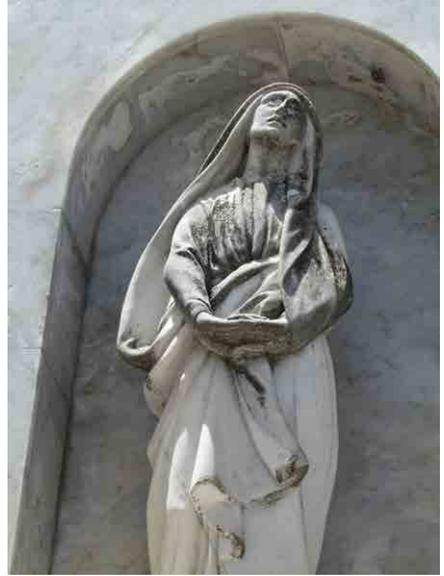


Foto 2 – Escultura en mármol



Bianco Carrara C



Bianco Carrara CD



Bianco Carrara D



Foto 3 – Umbral ingreso a Bóveda



Foto 4 – Trabajo en Umbral de ingreso

MÁRMOL TRAVERTINO

En determinadas zonas donde se encuentra la piedra caliza, el agua arrastra componentes cargándose de carbonato de calcio y depositándolo en diferentes estadios. En el caso de encontrar aguas termales o saltos de agua estos depósitos forman el TRAVERTINO. A medida que el agua de lluvia con gran cantidad de dióxidos se filtra a través del suelo y las piedras, van disolviendo piedra caliza que se deposita en grandes fisuras subterráneas formando canteras a poca profundidad.

Los componentes de los mármoles travertino son calcita y yeso, aunque el 99% de los minerales que lo conforman son incoloros. La tonalidad de color miel tiene su origen en el otro 1% de la piedra que presenta trazas de azufre amarillo, compuestos de hierro pardo y pigmentos orgánicos.⁴ Foto 1-2

Esta roca es formada en la superficie, la falta de presión de las profundidades hace que el material sea menos noble o compacto que las rocas que vimos con anterioridad, incluyendo a veces cavidades (burbujas de gas en su formación) que debilitan la pieza y que muchas veces se completan y se pulen con otro material para otorgar una superficie homogénea.

La ausencia de dureza elevada, posibilita que se trabaje la roca de manera diferente (ver foto 3-4 – revestimiento exterior). Los sistemas de corte y extracción varían su metodología. Eso hace que la terminación superficial varíe, confiriéndole a la pieza distinto grado de brutalidad. (Fotos 5-6)

ROCA ARENISCA

Con anterioridad, establecimos que las rocas también pueden ser clasificadas según sus clastos. La roca arenisca, pertenece en la clasificación a las sedimentarias (arenas transportadas por agua), y está compuesta por clastos de tamaño arena (ver tabla), siendo su componente principal el cuarzo, pudiendo contar con otros minerales como el feldespato y la mica.

Los componentes principales se conforman mediante un ligante, de tal manera que... *El material cementador que mantiene unido a los granos de la arenisca suele estar compuesto de sílice, carbonato de calcio u óxido de hierro. Su color viene determinado por dicho material cementador; los óxidos de hierro generan: areniscas rojas o rojizas.⁵*

Una de las rocas areniscas más utilizadas en nuestra ciudad, y de fuerte incidencia en la construcción, es la denominada "piedra Mar del Plata" o cuarzo arenisca, (95% de cuarzo), que se obtiene de las canteras que rodean nuestra ciudad entre las que se encuentran las de Chapadmalal y Batán.



Foto 1 – Revestimiento de mármol travertino



Foto 2 – Coloración de la roca



Foto 3 – Placas de revestimiento travertino



Foto 4 – terminación exterior de bóveda

En la arquitectura doméstica la piedra tuvo asimismo un rol preponderante en la construcción de significados⁶, ese rol preponderante se trasladó a cementerio principal de la ciudad.

Las rocas areniscas también son clasificadas según sus componentes, de la siguiente manera:

- Cuarzoarenitas. El cuarzo es su componente principal.
- Calcarenitas. Predomina el carbonato de calcio
- Arcosas. Ricas en feldespatos.

La roca arenisca puede tomar miles de años para formarse, tanto debajo del agua como en otros terrenos. Aún desintegrada se comercializa como arena o material pétreo utilizado en la industria de la construcción.

Hay areniscas que, debido a las arcillas que traban los granos, son compactas cuando no contienen humedad, pero se ablandan con la absorción de agua, prestándose excelentemente al corte y a la talla en este estado y endureciendo con el tiempo y el secado. Otras areniscas, con sus granos de cuarzo fuertemente unidos con cuarzo recristalizado, son muy resistentes.⁷

Como vemos en las fotos 1-2 esta piedra puede ser trabajada en bloque tallado y también en placas de diferentes espesores (4cm – 8 cm) como revestimientos de muchas de las construcciones de nuestra ciudad, además de los otros usos acorde a su presentación.

METEORIZACION Y DETERIORO DE LAS ROCAS

La meteorización es la desintegración o la ruptura en la misma roca como consecuencia de la exposición a los agentes físicos, químicos incluyendo la meteorización biológica como un tercer tipo.

La particularidad en la ubicación espacial de los objetos de análisis hace que estos agentes estén presentes casi en su totalidad, siendo además un espacio hostil para los elementos pétreos, entre otros.

Como su nombre lo indica, en la **METEORIZACIÓN FÍSICA**, las rocas NO cambian su composición química, y son causadas por agentes ambientales o atmosféricos como el frío, el calor, el agua y la sal, que disgregan a la roca en fragmentos más pequeños.

Dentro de la meteorización física existen diferentes agentes que ocasionan disgregamiento, como, por ejemplo:

La **termoclastia**: como su nombre lo indica la termoclastia incluye la temperatura dentro del agente capaz de disgregar a la pieza pétreo. El salto



Foto 5 – Trabajos sobre superficie en roca



Foto 6 – Trabajos exteriores en travertino

térmico que plantea nuestra ciudad entre el día y la noche en algunas de las estaciones del año hace que el material sufra dilatación y contracción de forma periódica. Ese ir y venir en los cambios afectan la integridad de la roca, llegando incluso a su colapso.

La termoclastia da origen a una forma típica de meteorización mecánica en rocas graníticas que se denomina exfoliación en bolas, en inglés onion weathering (meteorización en capas de cebolla) debido a que la radiación solar penetra muy superficialmente en el granito, calentando apenas uno o varios centímetros a partir de la superficie, que es la zona que se dilata, mientras que al enfriarse, se va separando del núcleo interno que conserva la misma temperatura más tiempo.⁸

Otro agente de la meteorización física es la **GELIFRACCIÓN**, si bien Mar del Plata no se expone a condiciones climáticas gélidas, existen momentos de la estación invernal que provoca el congelamiento del agua. Pequeñas porciones de líquido alojadas en los intersticios que deja la piedra, puede sufrir congelamiento. Sabemos que el agua cuando se congela, aumenta su volumen hasta en un 9% o 10%, esa presión interior originada por el aumento de volumen terminara por provocar la rotura de la pieza. El material de estudio relevado se encuentra en las inmediaciones de la costa donde la temperatura baja unos grados más que en el interior del territorio, razón por la cual no descartamos la gelifracción como motivo de meteorización física presente en el cementerio.

La **haloclastia** también forma parte de los agentes físicos que se encuentran en la zona. Su principal componente es la sal. Teniendo en cuenta que el estudio de las piezas se aloja en el ambiente marino la presencia de tal elemento no resulta extraño. La evaporación salitrosa del mar carga la atmosfera de sales que luego la lluvia depositara sobre la superficie de las bóvedas de nuestro lugar de estudio. Al evaporarse el agua pequeños granos de sal quedan incrustados dentro de la piedra que al recristalizarse generan presión interna (similar a la gelifracción) provocando pequeñas fisuras que con el tiempo romperán la pieza.

Por último, y quizás el agente menos conocido es el de la **descompresión** o quizás menos útil para nuestro objeto de estudio ya que se generan disgregaciones por la falta de presión que la pieza tenía en su posición original. Los elementos que nosotros analizamos ya pasaron por a etapa de mecanización y están niveladas en presión.

La **METEORIZACION QUIMICA** por su parte, produce una transformación que provoca una falta de cohesión y alteración de la roca mediante procesos atmosféricos, el vapor de agua, el dióxido de carbono y el oxígeno. Los

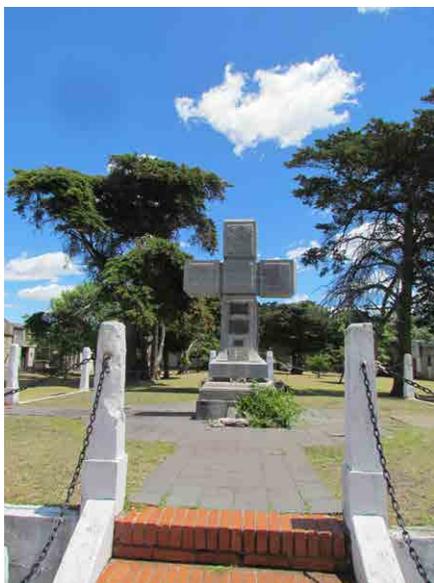


Foto 1 Bóveda Horacio PETORROSSI



Foto 2 – Cruz de piedra Mar del Plata trabajada



Foto 3 – diferentes trabajos en piedra



Foto 4 – Trabas y tallas diferentes en piedra MdP

principales procesos químicos son la disolución, la oxidación, la carbonatación y la hidrólisis.

La **disolución** consiste en la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como es el agua. Es muy importante en minerales solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas y en el modelado kárstico.

La **oxidación** se provoca por acción del oxígeno sobre la roca. Cuando una roca se oxida, se debilita. *El óxido de hierro es una especie de color marrón-rojo en color, y esto explica por qué algunas rocas se ven rojas*⁹. Cuando una sustancia se oxida, otra se reduce. Una cede electrones y la otra los acepta. La reducción provocara la rotura.

Por su parte la **carbonatación** El dióxido de carbono disuelto en el agua de lluvia o en aire húmedo forma ácido carbónico, y este ácido reacciona con minerales en las rocas.

*El anhídrido carbónico CO₂ de la atmósfera se disuelve en el agua lluvia y forma un ácido débil llamado ácido carbónico (H₂CO₃) el cual reacciona con los carbonatos, principalmente el CO₂ para formar bicarbonato en solución.*¹⁰

Hidrólisis resulta cuando se produce la descomposición química por el agua. Básicamente por acción sobre el feldespato transformándolo en arcilla.

Según otras fuentes, forman parte de la meteorización química, la **Laterización** (proceso de lixiviación), el proceso **Bioquímico** (acción de ácidos orgánicos) y la **Hidratación** (agregado de agua a la estructura mineral).

Por ultimo la **METEORIZACION BIOLÓGICA** consiste en el deterioro de la piedra por la acción directa de animales y o plantas. En el caso de los animales se provoca por el desprendimiento de sustancias (ácidos nítricos, amoniacos y dióxido de carbono) que potencian al agua como agente erosionador.

*Las raíces de las plantas hacen un efecto mecánico importante que también contribuye a la rotura de las rocas.*¹¹

Los vegetales también inciden en forma directa cuando no se otorga un cuidado intensivo sobre la bóveda. En la foto 4 vemos como la vegetación ejerce una especie de “apalancamiento” que terminara provocando la caída de la pieza.

*La vegetación desempeña un papel decisivo en los procesos de meteorización química, ya que aportan iones y ácidos de disolución al agua. La descomposición orgánica genera humus más o menos ácido que provoca fenómenos de podsolización.*¹²



Foto 1 y 2 Rotura de material pétreo de revestimiento – Los colores oscuros atraen el calor con mayor intensidad.



Foto 3 - Vegetación en umbral de acceso

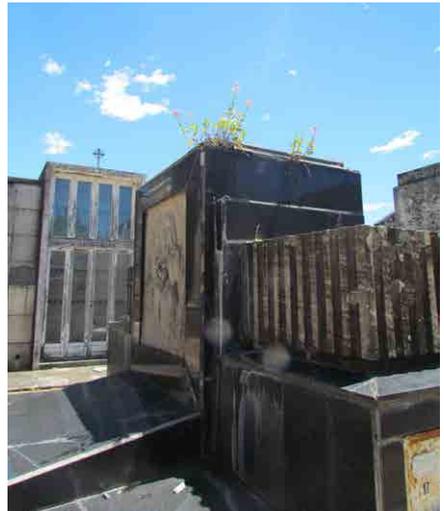


Foto 4 - especie arbórea en junta de mármol

RESTAURACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS

La restauración de los materiales pétreos requiere de un profesional interviniente, que será uno de los engranajes puestos al servicio del proyecto de restauración general.

Los pétreos formaran un sub ítem dentro del esquema de restauración que requiere de cuidado y atención, ya que muchas veces las acciones restauradoras pueden dañar un elemento de manera irreversible.

Cualquier restauración que se piense como tal, deberá iniciarse con una **consolidación** previa del material a trabajar. De por sí, cualquiera de los pétreos son materiales porosos en mayor o menor escala. Los mármoles, por ejemplo, al ser una piedra caliza es un material de alta porosidad, lo que lo transforma en una roca propensa a las manchas o al teñido de distinta intensidad.

Uno de los principales procedimientos que los conservadores-restauradores llevan a cabo en los bienes culturales pétreos disgregados es la consolidación, que se realiza básicamente para restablecer la estabilidad estructural y mejorar la resistencia mecánica del sustrato que ha sido afectado por distintos agentes de alteración, como la contaminación atmosférica, la cristalización de sales, la humedad, los factores biológicos y las acciones antropogénicas.¹³

El mármol es ideal para uso en áreas de poco tráfico o para crear objetos artísticos. Sin embargo, la calidez que se busca en diferentes bóvedas hace que deberíamos estar atentos al mantenimiento.

Los consolidantes tendrán como objetivo mejorar las características mecánicas del material y al mismo tiempo reducir la porosidad.

Siempre que se elija un consolidante, será necesario tener en cuenta el grado de reversibilidad que el mismo tiene sobre la roca que necesite trabajos de restauración.

También será necesario un estudio del sistema de limpieza habida cuenta que este paso puede ser posterior o anterior a la consolidación del material pétreo.

Sera necesario estudiar el grado de penetración del producto y de la saturación de los poros del material, a la hora de aplicar el consolidante, datos que nos dará la pauta de la concentración de la solución a aplicar. Como veremos más adelante estos productos podrían ser a base de solvente, para lo cual es casi obligatorio estudiar el índice de volatilidad o la tasa de evaporación.

Es imprescindible, además, realizar un estudio previo, determinando cual será el tiempo de contacto, cuál será la presión y la temperatura de trabajo, ya que son factores determinantes para el éxito de la aplicación.

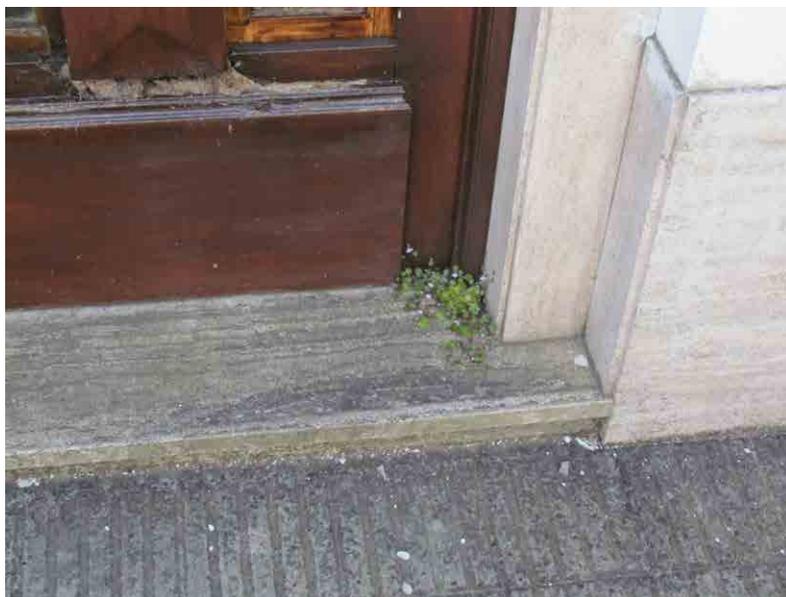


Foto 1 – Umbral de mármol travertinos



Foto 2 – Zócalo de marmol travertino

En algunos casos, y previo a la limpieza puedo colocar un pre- consolidante, que se logra con aplicación de dos resinas, una acrílica y una siliconada.

En nuestro caso de análisis, la aplicación será necesariamente “in situ”, razón que disminuye la calidad en el resultado del trabajo dada la poca penetración que se logra, ya sea por método a CHORRO, SPRAY, BROCHA o PAPETA. En el caso de que la pieza pueda ser removida se recurre al laboratorio que mejorara cualquier tipo de colocación en el lugar.

Los consolidantes pueden clasificarse como *inorgánicos*, *orgánicos* y *biológicos*.

Los **inorgánicos** pueden ser más duraderos que los orgánicos, pero más frágiles, presentan una mejor afinidad física y química llegando incluso a reforzar pequeñas fisuras o fragmentos de menor cuantía.

Entre los productos inorgánicos podemos citar: Hidróxido de Bario - Se basa en la reacción del hidróxido de Ba con el dióxido de carbono para formar carbonato de Ba, que presenta una solubilidad muy baja en agua. Es aplicable a rocas calcáreas. Puede dar lugar al blanqueamiento de la superficie. Aluminato de Potasio - Este producto ($KAlO_3$) se hidroliza produciendo hidróxido de K ($K(OH)$) y alúmina (Al_2O_3).

Hidróxido de Calcio – (agua de cal) Este producto dan lugar a carbonato de calcio, que es moderadamente soluble en agua y precipita en el sistema poroso generando un cemento calcítico. Este producto es poco utilizado debido al poco índice de penetración en las rocas.

Consolidantes a Base de Silicio

El campo de los consolidantes a base de Si es muy amplio y comprende productos diversos que van desde resinas silicónadas hasta silicatos alcalinos, siendo de tipo orgánico, inorgánico y mixto. En las tablas I y II se presenta una nomenclatura que ilustra los diferentes tipos de consolidantes a base de Si.

Silicatos Inorgánicos

En presencia de agua se hidrolizan

Fluorsilicatos Las sales más usadas son de Mg y Zn. Se usan como consolidantes ya que también liberan sílice. En el caso de las piedras calcáreas, la reacción con el carbonato de Ca forma fluoruro de Ca que es un compuesto de baja solubilidad en agua y por lo tanto contribuye a mejorar el efecto consolidante.

Los consolidantes **orgánicos** por su parte, son más elásticos que los inorgánicos, pero por tratarse de polímeros muchas veces presentan escasa

penetración, ya que sus moléculas a veces son del mismo calibre que los poros de la piedra.

Estos consolidantes ofrecen una mejor hidro-repelencia pero no son afines ni físicamente, ni químicamente por lo que las dilataciones y contracciones propias de las construcciones analizadas, perjudican la durabilidad de los mismos.

Dentro de esta clasificación se maneja dos tipos claramente identificables, las termoplásticas y las termoestables. En las primeras los enlaces se rompen por aumento de la temperatura, los que las hacen reversibles, mientras que en las termoestables las cadenas moleculares no se rompen por lo cual hace esa aplicación irreversible.

Dentro de los consolidantes orgánicos termoplásticos podemos contar con:

Resinas Acrílicas - Son resinas termoplásticas obtenidas a partir de la polimerización del ácido acrílico, del ácido metacrílico y de sus derivados

Resinas Fluoradas - La alta estabilidad química debida al Flúor hace que este tipo de resinas presenten elevada resistencia a la radiación ultravioleta, por lo que son bastante interesantes desde el punto de vista de la conservación.

Polietilenglicoles y Polioxietileno - Son polímeros termoplásticos obtenidos por polimerización del óxido de etileno. Presentan bastante resistencia química a la luz. Según su peso molecular son solubles en agua y en varios solventes orgánicos, y más o menos fluidos a temperatura ambiente. Por estas razones no son comúnmente utilizados en la consolidación de materiales pétreos, aunque sí en el tratamiento de maderas embebidas en agua.

Y dentro de los consolidantes orgánicos termoestable están:

Resinas Epoxidicas - Son resinas termoestables obtenidas por la reacción entre monómeros o prepolímeros con al menos dos grupos epoxídicos

Resina de Poliester - Estos polímeros son lineales y termoplásticos, por lo que pueden utilizarse como consolidantes. La polimerización tiene lugar a temperatura mayor que la ambiental, lo cual es un problema para su uso. La resistencia a la radiación ultravioleta de este tipo de polímeros es relativamente baja. Sin embargo, la resistencia mecánica y la adhesividad son buenas.

MÉTODOS Y PRODUCTOS DE LIMPIEZA

Es necesario prestar atención en los métodos de limpieza, debido a que será una tarea que es considerada como irreversible y que no debería realizar daños en el material original. Es por eso que esta labor, requiere de idoneidad

y de la realización de pruebas en lugares menos visibles de la piedra con un análisis de la situación y un estudio de los procesos patológicos presente en los elementos a intervenir. Los métodos de limpieza pueden ser de dos maneras diferentes, mecánica o química.

El método **mecánico**, actúa por impacto de otro material o herramienta. Podría emplear un lavado profundo con agua jabonosa y cepillo de dureza variable (según el estado de la pieza), también se puede emplear el método más conocido que es hidrolavar a una presión controlada máxima de 120 bares. También se puede recurrir a una limpieza hidroneumática, mediante bombas de presión controlada con el agregado de polvo de vidrio o corindón (polvo de óxido de aluminio).

La utilización de líquidos (no químicos) se puede completar con la utilización de agua nebulizada, que se realiza mediante un atomizador, que permite una lenta velocidad de agua sobre la superficie de piedra, gastando menos líquido. La niebla que se forma está formada por pequeñas gotas de agua que entran en profundo contacto con la piedra, sin perjudicar su superficie.

En un sistema que incluya componentes sólidos podemos utilizar un método que suele ser abrasivo (de acuerdo a su principal componente – arena) que es arrojado por medio de presión y que puede dar diferentes resultados de acuerdo al elemento que se elija (arena común – arena de río – polvo de vidrio, etc). Por último y como método más avanzado se utiliza *“desincrustación fotónica”, empleando un láser de fibra óptica especialmente diseñada para ser utilizado en la restauración LASER ARTLIGHT, con una potencia de 103 W/cm², longitud de onda de 1062 nm y una frecuencia de 3-10sP/A. Para facilitar los trabajos se empleó un equipo láser móvil tipo mochila, láser de clase 4.*¹⁴

La limpieza mediante componentes **químicos** se realiza con la utilización de elementos que actúan sobre el material pétreo y que normalmente incluyen productos químicos neutralizados en húmedo con una concentración controlada y preparado con el agregado de menor a mayor hasta obtener la proporción deseada.

Dentro de los químicos se encuentran los ácidos como los clorhídricos o los fluorhídricos (fuertemente corrosivo y dañino para la salud) y los de bases mucho más fuertes como los removedores.

Los agentes tenso activos también forman parte de los elementos de limpieza mediante agua jabonosa o detergentes neutros no iónicos.

Por último las sales disueltas en agua con agregados inertes, como el bicarbonato de sodio, amonio o sales bi o tetra sódicas del ácido



Foto 1 – suciedad en frente de piedra



Foto 2 – sup. que puede ser intervenida con hidrolavado



Foto 3 - Vegetación y moho a ser extraído



Foto 4 – manchas de sales adheridas al granito

etilendiaminotetraacético denominado comúnmente como EDTA, aplicados mediante pasta de celulosa o papetas.

Formulas usuales para limpieza, podrían utilizarse en el caso de intervenir en la foto 4 de la bóveda y que podrían dar buenos resultados.

Agua y amoníaco (96% - 4%)

Agua y Alcohol (50% - 50%)

Agua y acetona (75% - 25%)

Las denominadas 3A y las combinaciones que puedan surgir entre ellas.

O también:

Peroxido de hidrogeno al 3%

Carboximetil – celulosa

Bicarbonato de sodio

Bicarbonato de amonio

Algunas de las patologías más comunes como la mancha de herrumbre, compuestas por óxido de hierro, puede tratarse con fosfato amónico mas ácido fosfórico, con un escueto tiempo de aplicación es suficiente, y menos agresivo que la solución de bifluorato amónico al 1-5%. La oxidación y el ataque ácido sobre elementos de bronce producen sales que manchan los soportes pétreos. Estas manchas pueden eliminarse con EDTA o carbonato amónico al 20% en agua.

Como es apreciable en las imágenes de foto1 a 6 las zonas son afectadas por colonias biológicas de carácter vegetal tales como musgo, algas, mohos y líquenes, que necesariamente deben ser tratadas, ya que confieren a la pieza, aspecto de abandono y desprolijidad. Las colonias vegetales son las primeras en arraigarse dentro de las piezas que se encuentran expuestas al ambiente. Esto se manifiesta también claramente en elementos escultóricos desarrollados en mármol que toman una tonalidad verdusca Oscura. (Foto 7)

En este caso conviene aplicar sobre la pátina biológica una disolución de Cloruro de Benzalconio (biocida) en agua desmineralizada al 60% como inhibidor de la actividad vegetal aplicada con esponja sobre la pieza, para concluir el trabajo con la aplicación de fungicida y alguicida de amplio espectro como el Carbonato de Amonio colocado mediante compresas de pulpa de celulosa (papel en placha).



Foto 5 – Mancha de óxido de cobre o bronce



Foto 6 – Consecuencia sobre mármol travertino

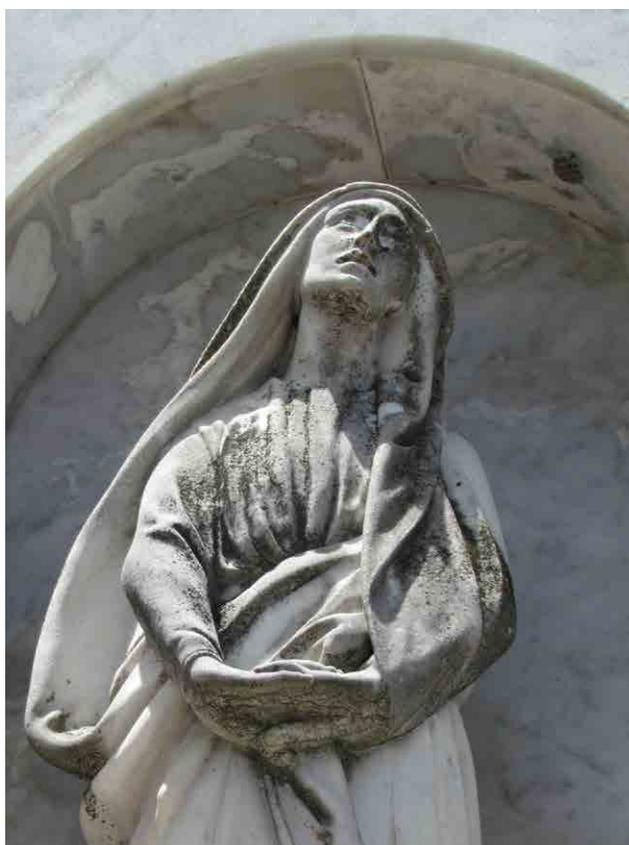


Foto 7 – colonia de vegetación variada (musgo, líquenes, etc)

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE REINTEGRACIÓN O SUSTITUCIÓN

.....Fruto de este interés surgieron enconadas polémicas sobre los criterios de restauración y conservación, que en la segunda mitad del siglo XIX se concretizan en dos escuelas contrapuestas:

Conservar sin restaurar (aproximación arqueológica de Ruskin, en *Las siete lámparas de la arquitectura*, 1849, y de la Sociedad para la Preservación de Edificios Antiguos, fundada en Inglaterra en 1877).

Conservar reconstruyendo (aproximación racionalista de Viollet Le Duc, en *Dictionnaire raisonné de l'Architecture française*, 1854-1868).¹⁵

Esta polémica seguramente no podrá ser dilucidada, aun con el paso del tiempo. Nuestros objetos de análisis han sufrido deterioros, pero a nuestro entender no deberán ser remplazados dada la magnitud de la patología. En los casos que muestra la foto 1 determina la caída de material - desprendimiento y en la foto 2 el colapso y caída del frente de la bóveda con rotura de desprendimiento.

En el caso uno es muy posible recuperar y volver la pieza a su lugar pudiendo adherir las piezas entre sí.

La pieza fracturada (foto 2) podría intervenir mediante un micro cosido de varillas de acero inoxidable roscadas que se interpenetran con la pieza faltante, formando una comunión con material de características similares.

La unión entre ambas piezas se terminará por medio de resinas epoxi tixotrópica (Adhesivo epoxi de dos componentes) con altas prestaciones de resistencias mecánicas a compresión y flexo tracción. En este caso también será necesario aplicar un aditivo de color otorgado por pigmentos inorgánicos para conferirle la tonalidad idónea.

Para el caso de la foto 2 y ante el faltante de material será necesario acudir a la **reintegración**. La única manera que será justificable la sustitución de aquellos elementos es sí, por su avanzado estado de deterioro hayan dejado de cumplir su función estructural o de protección.

Los faltantes de mediano tamaño, que inciden en la estética del conjunto, se recuperaran imitando el original. Teniendo en cuenta la escasa porosidad de la pieza granítica es recomendable el uso de un mortero sintético formado por un conglomerante poliéster, una proporción de carbonato cálcico (mixto 300-800 μ) y también en este caso un aditivo de color que logre idéntica coloración. De ser necesario, el material sustituyente podrá ser modelando sobre la zona, para luego sean conformados con mortero sintéticos.



Foto 1. Desprendimiento de pieza granítica



Foto 2. Caída de material - desprendimiento



Foto 3 - sector a reintegrar

Los fragmentos de material pétreo que se desprendan durante los trabajos de intervención, deberán ser devueltas a su posición original. En ese caso se pegarán con resina epoxi bi-componente aplicada con pistola de acción manual y cosidas con malla fibra de vidrio en aquellos trozos de mayor envergadura. La aplicación será mediante una capa densa de resina (2 a 4 mm) aplicada a espátula en las caras a unir para luego unir los fragmentos generando presión continua hasta finalizar el secado de la resina (unos 30 minutos, inicio catalización). En el caso de elementos de grandes dimensiones: colocando en el interior de la escultura pernos de fibras de poliéster o como ya vimos pernos de acero inoxidable.

Es necesario realizar el sellado de fisuras con el fin de evitar la penetración y/o acumulación de agentes de deterioro (agua, polvo, etc) devolviéndole, asimismo, la coherencia estética al conjunto.

Finalmente, se recurrirá a las patinas para emparentar el material de antigua data con aquel que fue restituido. La patina cumplirá con dos objetivos, por un lado, la protección superficial ante los agentes de degradación y por otro, unificar el conjunto donde se podría aplicar productos con bases de silicato de Etilo mezclado con pigmentos minerales naturales, aplicados con pulverizador. *Se considera que son pátinas naturales la de envejecimiento, la ferruginosa y la de oxalatos. La patina de envejecimiento comporta un ligero cambio de color, pero no significa deterioro, y se produce por evolución natural de la superficie en ambientes naturales. La patina ferruginosa o patina de oxidación es de espesor inapreciable y se distingue por un cambio de color uniforme de la superficie hacia tonos entre amarillentos y rojizos. Suele presentarse en algunos granitos y areniscas, debido a la oxidación que sufren minerales ricos en hierro en ambientes naturales con el paso el tiempo. La patina de oxalatos es delgada y se distingue por sus colores anaranjados, debidos a la presencia de oxalatos de calcio (wedellita y whewellita). Se forma frecuentemente sobre sustratos calcáreos (calizas y mármoles), también en ambientes naturales.*¹⁶

SISTEMA Y MATERIALES DE PROTECCIÓN

El objetivo de estos tratamientos es favorecer la conservación de los materiales, evitando o retardando la acción de los agentes ambientales y/o antrópicos de deterioro.

Los trabajos de reintegración, sustitución y limpieza culminan con un buen sistema de protección que ayude a la manutención por un tiempo mayor. Es necesario para ello, haber solucionado los inconvenientes de aporte de agua o humedad, ya sea por capilaridad o proporción directa de drenajes o contención que eviten la posibilidad de nuevos deterioros.

Paso previo a la colocación de hidrofugantes, la base soporte debe estar seca, limpia y libres de sales. Estos productos no deben alterar las características estéticas, habida cuenta que estamos trabajando con obras de carácter patrimonial, como tampoco modificar su aspecto, alteración cromática o brillo. Aumentan sus propiedades si son capaces de disminuir la absorción del agua al menos en un 70% y que puedan aumentar la velocidad de evaporación en los pétreos.

La limpieza del material pétreo o sustrato, seguramente requerirá el uso de alguicidas y fungicidas de amplio espectro, que estimulen la limpieza de la superficie de contacto.

El objetivo de la aplicación de hidrorrepelentes de siliconas en base acuosa o impermeabilizantes incoloro a base de silicona vehiculizada en solventes (ambos productos se consiguen en el mercado local) será el de rellenar los poros del material pétreo, para evitar el ingreso de humedad, formando una película que aísla a la piedra del medio ambiente. Otro de los objetivos de la aplicación de los hidrorrepelentes será el de **modificar el ángulo de contacto** con el agua, repeliendo este último del material base.

Existen productos capaces de consolidar e hidrofugar pétreos, pero suelen dar menores resultados en ambas facetas.

La elección del tratamiento de la roca dependerá, por un lado, de la patología y la causa del deterioro, y por otro lado de las características petrológicas de la piedra sobre todo teniendo en cuenta la propiedad física que interesa modificar para evitar causas de deterioro.¹⁷

Ese tratamiento podrá ser realizado mediante ceras, tanto naturales o sintéticas. La cera de origen natural se caracteriza por tener una baja penetrabilidad y adherencia en el sustrato, confiriendo a este último un aspecto pegajoso, lo que aumenta la capacidad de ensuciamiento, tendiendo a oscurecer la piedra.

Las ceras de base sintética son las que derivan de los hidrocarburos y pertenecen al grupo de las parafinas otorgándole a la piedra una mayor cualidad hidrorrepelente. Otras ceras sintéticas utilizadas, son las llamadas polietilenglicoles también utilizadas en la industria de la alimentación o medicinal (para el recubrimiento de medicamentos), que poseen una mayor resistencia a los ataques químicos y es muy utilizada para superficies que son atacadas por grafitis.

Las resinas termoplásticas también forman parte de los productos utilizados como protección de los pétreos, que mejoran su rendimiento cuando se mezclan con diferentes siliconas. Estos compuestos suelen ser de menor durabilidad, sobre todo si se los exponen a ambientes húmedos o marinos.

Dentro de las resinas se encuentran aquellos tratamientos que incluyen compuestos **fluorcarbonados** con agregados de **O-CF₂** (polímero similar al polietileno) que, aunque posee una baja adherencia al sustrato, son muy estables a la radiación solar y a la hidrorrepelencia.

Por último, los productos siliconados o *polidimetilsiloxano (PDMS)*, *el cual es un derivado siloxano que presenta propiedades de gran interés como por ejemplo alta flexibilidad, alta estabilidad química, hidrofobicidad, resistencia a la radiación UV y biocompatibilidad*¹⁸ son ampliamente utilizados por su capacidad y resistencia a los ataques físico-químicos y por su bajo costo, dado que su principal componente, el silicio, es uno de los elementos más abundantes de la tierra.

Finalmente existen otros sistemas de protección, que preservan las bóvedas del ataque de predadores, como las aves (palomas) de gran presencia en nuestro lugar de análisis. Se trata de implementos eléctricos que emiten sonidos, o redes plásticas, agujas de policarbonatos o pinches de acero inoxidable, productos que me interesa nombrar, pero los creo inefectivos, dado a que generan una cierta polución visual, incluso auditivas, difícil de ocultar.

Es interesante realizar trabajos de esta característica habida cuenta lo enriquecedor que resulta adquirir saberes, sobre un material que se encuentra presente en una gran cantidad en nuestro lugar de análisis y que albergan diferentes tipos de rocas naturales en su clasificación.

Concluir una tarea de estas características, obliga a reconocer el escaso conocimiento, que se posee sobre un material que es utilizado en un amplio espectro en nuestra ciudad y que se enriquece con la gran presencia que posee en el Cementerio de la Loma.

Seguramente, el presente artículo sea tomado como informativo en su mayoría, pero nos alerta de la gran variedad de técnicas para la solución a problemas de mantenimiento y restauración de materiales pétreos.



Foto 1. Presencia de suciedad por absorción



Foto 2. Musgo potenciado por salpicaduras

NOTAS

¹ Clasificación de texturas y parámetros mecánicos de suelos - Dipl. Ing. Ulises Ruíz Saucedo Proyecto Desarrollo Institucional para la Gestión de Sitios Contaminados PN: 99.21.34.3 México D.F. DIM 4022

² <https://www.rocasym minerales.net/granito-negro/>

³ Diferentes variedades de mármol de Carrara - Dr. Piero Primavori - Global Heritage Stone

⁴ <https://casa-web.com.ar/marmol-travertino-para-pisos-y-revestimientos-caracteristicas-y-tipos>

⁵ "Rocas sedimentarias arenitas. Areniscas" Graterol Mariluz y Vásquez Haymarí – UCIENCIA – Universidad de Málaga. 2013

⁶ La piedra en la construcción del patrimonio arquitectónico y urbano. Mar del Plata 1873-1950. Fundamentos para su preservación. Mg. Arq. Alejandra Domínguez IEHPAC - FAUD- UNMdP

⁷ https://www.quiminet.com/articulos/pizarra_arenisca_cuarcita_caliza_y_mármol_tipos_de_piedra_para_construcción.

⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Meteorización_física

⁹ ¿Qué es la meteorización química? Definición y Proceso

¹⁰ Capítulo 12 Meteorización y suelos. J.M. Montero. UNAL – Texto para docentes.

¹¹ Petrología sedimentaria. Notas de teoría. 3. Procesos en ambientes exógenos I: Meteorización Prof. Ana M. Alonso Zarza - Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas.

¹² METEORIZACIÓN Y SUELO Geología Física. prof Alberto Pérez Rojas Universidad de México

¹³ Diseño y evaluación de consolidantes para el patrimonio pétreo de origen volcánico. Nora Ariadna Pérez Castellanos y Enrique Lima Muñoz. Intervención (Méx. DF) vol.4 no.8 México jul./dic. 2013

¹⁴ Métodos para la limpieza física, química y biológica de las fábricas de piedra de monumentos históricos.

¹⁵ Introducción a los Métodos de Restauración y Conservación de Materiales Pétreos. www.insur.com.uy

¹⁶ Proyecto COREMANS: «Criterios de intervención en materiales pétreos» Coordinación científica Ana Laborde Márquese. NIPO: 030-13-278-9ISBN: 978-84-8181-562-7 Depósito legal: M-33413- Editado SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA Subdirección General de Documentación y Publicaciones – España 2013

¹⁷ Modificación de propiedades petrofísicas de las rocas, con la utilización de consolidantes e hidrofugantes. Dr. Rafael Fort González. Dr en Geología Económica. Libro “Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico” Editorial Complutense. Madrid 1996.

¹⁸ Polisiloxanos: Materiales para aplicaciones de alta tecnología Miguel Ángel Meléndez Zamudio, José Antonio Villegas Gasca y Jorge Armando Cervantes Jáuregui - Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas.