

TC-13

**IGLESIA NUESTRA SRA. DEL CARMEN:
TRATAMIENTO DE HUMEDADES CAPILARES ASCENDENTES
MEDIANTE CÁMARAS DE DESCOMPRESIÓN**

Zanni, Enrique

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño; Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
eszanni@yahoo.com

Consideraciones generales

La conservación del patrimonio construido reclama, ante todo, que los edificios no sean librados a su suerte y que periódicamente se intervenga en los mismos para evitar las consecuencias del paso del tiempo y de los efectos de los eventos naturales y/o humanos, todos los cuales van dejando sus huellas en el mismo.

Las actividades permanentes a realizar en toda construcción deberían ser de mantenimiento y luego (con una cierta periodicidad), de conservación, las cuales requieren ante todo de planificación y de ciertas instrucciones mínimas. Debieran dejarse para las especiales circunstancias que así lo requieran, de carácter puntual, las tareas de restauración, por cuanto las mismas resultan de mayor impacto en el edificio, simplemente por el carácter de los trabajos que estas implican.

En el caso concreto de la *Iglesia del Carmen* tanto el paso del tiempo como ciertos eventos naturales han provocado una serie de daños a los cuales se hacía necesario atender a la brevedad. Se consideró, además, que la ocasión era oportuna y conveniente para elaborar un manual de mantenimiento y de conservación del edificio, para que a futuro el proceso de atención y cuidado del mismo se haga siguiendo un plan previo. De igual modo, el paso primero a dar para poder concretar a los antes referidos fue el de la realización del relevamiento y de la documentación general del edificio y de su estado, por cuanto no se puede intervenir en el mismo sin un completo registro de cómo es y de sus problemas específicos.

Características del Plan de Conservación

En vistas de lo antes dicho el Plan de Conservación propuesto puede dividirse en cuatro grandes momentos:

1. Estudio (relevamiento)
2. Proyecto de intervención
3. Intervención
4. Elaboración del manual de mantenimiento y de conservación.

1. Relevamiento

Consiste en la medición y registro de datos de todo tipo que permiten documentar integralmente al edificio en su estado previo a la intervención, con dos fines:

- a) Dejar constancia de lo existente como modo de preservar la memoria del mismo y asentar una "historia clínica" donde queden consignadas todas las intervenciones realizadas y por realizar.
- b) Construir una base de información fidedigna y completa que permita la toma de decisiones durante la elaboración del proyecto de conservación.

El relevamiento incluye los siguientes aspectos:

- Plani-altimétrico
- Técnico constructivo
- Histórico

2. Proyecto de Intervención

Consiste en la elaboración de un Anteproyecto Integral de Conservación, susceptible de ser dividido -como se sugirió- en etapas de obra, pero siempre manteniendo una visión general del problema.

Una vez elaborado el mismo, incluyendo la definición genérica de los grandes rubros a abarcar en cada etapa, como asimismo el presupuesto aproximado del costo de

ejecución y la duración de cada una, se estuvo en condiciones de decidir el orden de intervención, tarea que fue decidida de común acuerdo con la comunidad religiosa.

A partir de dicho momento se procedió a la elaboración del Proyecto Ejecutivo de cada uno de los módulos elegidos, el que abarcó toda la documentación gráfica y técnica necesaria, incluso Pliego de Especificaciones Técnicas.

Con el Proyecto Ejecutivo completo se solicitaron las cotizaciones a fin de efectuar una compulsa de precios para llevar a cabo las tareas. Del mismo modo se procedió en cada una de las etapas.

Se consideró en principio, que el proyecto integral debía organizarse alrededor de las siguientes partes / problemas del edificio, las cuales luego definieron las etapas de intervención posteriores:

- *Fachada*
- *Espacio interior:*

-coro y bajo coro

-nave principal y laterales

-ábside

- *Cubierta.*

Reseña histórica

Los edificios cuyas fachadas utilizan revestimientos de revoques con áridos tipo piedra París, son representativos de una época sumamente importante para la República Argentina, ya que testimonian un momento de esplendor coincidente aproximadamente con el Centenario de la Revolución de Mayo.

El modelo liberal imperante fue el contexto socioeconómico y político donde se prohicieron estas construcciones, tanto las de índole institucional, de porte majestuoso tendiente a

demostrar el poderío económico de la joven nación, cuanto la arquitectura doméstica, en la cual la inmigración italiana que comenzó en las últimas dos décadas del S. XIX y continuó en las primeras del XX, dejó su sello inconfundible en las innumerables casas chorizo, a través de buñas, almohadillados, balaustres y ornamentos.

En el caso de los edificios institucionales, su ubicación dentro del paisaje urbano, respondió a la premisa de “mostrar” el progreso, y a ello deben sus privilegiadas localizaciones frente a plazas o en esquinas donde confluían avenidas importantes (en Córdoba, las Escuelas Olmos frente a la Plaza Velez Sársfield, Carbó frente a la Plaza Colón, y la Gabriela Mistral en Av. General Paz esquina Humberto Primero, el Teatro Rivera Indarte sobre la “Calle Ancha”, la Iglesia del Carmen sobre el paseo la Cañada, son testimonios que atestiguan lo antedicho). A raíz de la conjunción de una imponente fachada y una estratégica ubicación, pronto se convirtieron (y aún lo siguen siendo) en hitos urbanos de obligada referencia.

Para la magnificencia de la fachada apelaron a la tradición extranjera, resuelta a través del eclecticismo academicista, con un lenguaje clasicista marcado en algunos casos mas que en otros, aunque también mediante la moda de los “revivals”, por medio de los cuales se recreaban estilos puros, tal el caso del neo-gótico en la Iglesia que nos ocupa.



Fotos 1 y 2. Fachada de la Iglesia de Nuestra Señora del Carmen.

Descripción y Diagnóstico

Se trata de una iglesia de estilo neo-gótico que data del año 1912, ubicada sobre el paseo del arroyo la Cañada, en el centro de la ciudad de Córdoba, República Argentina.

La misma posee tres fachadas libres acabadas con revoque simil piedra, y la cuarta (lateral) revocada y pintada, dando hacia el claustro del convento.

Las dos fachadas laterales (de 38 metros de extensión), manifestaban síntomas consistentes en eflorescencias y criptoflorescencias salinas, disgregación y lixiviación de morteros, manchas, etc, producidos por el ascenso de humedad capilar desde el suelo, que se encontraba saturado por fugas en conductos pluviales enterrados cercanos al muro, según surgió de las pruebas hidráulicas efectuadas a las mismas. Síntomas similares se detectaban en el zócalo del paramento interior del muro fachada, al igual que en todo el perímetro de la iglesia y en las bases de las columnas que dividen las naves del templo.

Procesos físicos de expansión de sales solubles.

El principio físico del fenómeno es similar al de la congelación del agua, es decir que producen el colapso del material de fachada o paramento, por acción mecánica durante su proceso expansivo.

Las sales son arrastradas por el agua desde el suelo, transportándolas en su ascensión capilar, o bien son disueltas por este mismo líquido a su paso por elementos que las contengan. En busca del equilibrio higrotérmico con el ambiente, el agua busca la superficie del paramento. Cuando llega al punto en que se reúnen las condiciones de temperatura, presión atmosférica y capacidad receptiva del aire circundante (HRA), el agua se evapora y las sales se cristalizan, aumentando su volumen en un porcentaje que varía según sea el origen químico de cada una (las hay potásicas, magnesianas provenientes de determinadas cales, sulfatos, cálcicas, compuestos nitrogenados, etc).

Cuando este fenómeno tiene lugar en la superficie del paramento, el producto del mismo se denomina eflorescencia, y suele manifestarse de distintas formas, desde la aparición de los

típicos algodoncillos blancos (sales cálcicas), hasta la formación de costras de colores oscuros o negruzcas, por acción de cloruros o nitratos.

Cuando la cristalización se produce en el interior del muro, el daño es mayor, ya que en este caso el cristal rompe la estructura del acabado de que se trate (particularmente en el caso de los símil piedra, produce la fractura y disgregación del mortero), atacando incluso a veces la masa de ladrillo del muro analizado. Esta lesión se conoce con el nombre de criptoflorescencia y tiene lugar mas frecuentemente en los muros exteriores, donde la acción del viento favorece la rápida evaporación del solvente, y la consiguiente expansión del soluto. También es mayor el problema cuando se trata de sales de hidratación diferencial, es decir que pueden absorber distintas cantidades de moléculas de agua, formando cristales de variados tamaños. En los análisis de laboratorio efectuados sobre muestras de los revoques afectados de la Iglesia, se detectaron los siguientes agentes:

Carbonatos

Su ataque se centra en la combinación del anhídrido carbónico incluido en el aire, con la cal libre del silicato tricálcico (SC_3) contenido en el cemento, dando lugar a la formación de carbonato cálcico. Éstas sales de color blanco y gran dureza, aparecen generalmente con aspecto de chorreaduras, de muy difícil remoción por medios mecánicos.

Como su pH es alcalino, pueden neutralizarse mediante la utilización de ácidos, recomendándose a tal fin el empleo de ácidos débiles como el fosfórico, diluido al 20% en agua destilada, que al combinar con aquellas, dan lugar a la formación de fosfato cálcico (sal insoluble). Una vez pasivadas, puede procederse a su eliminación mecánica mediante la utilización de cepillos de cerda.

Debe ponerse especial cuidado en el uso de ácidos fuertes tales como el clorhídrico (muriático), que requieren luego de enjuagues abundantes con agua para diluir sus restos, ya que precisamente el agua utilizada para ello, tenderá a remover sales de la propia masa de la mampostería, dando lugar así al reinicio del proceso.

Nitratos.

Son sales inorgánicas entre las que se cuentan los nitratos de amonio, de potasio y de sodio. Todas ellas son sales ácidas, cuyos pH rondan entre 4 y 5, desencadenando fenómenos de corrosión de metales en el caso de marcos o instalaciones embutidas en el muro. Asimismo, producen desintegración de la masa del mortero, por expansión de las sales solubilizadas en el caso de los nitratos de amonio ($\text{NH}_4 \text{NO}_3$), y desintegración lenta por lixiviación en el caso de los demás nitratos.

Aún en pequeñas cantidades, su sola presencia es suficiente para combinar con algunos compuestos cálcicos del cemento, dando lugar a reacciones de lixiviación y expulsión por desplazado de los revestimientos.

Respecto de la agresividad del agua de disolución, por acción de las sales disueltas en ella, la misma produce un doble efecto perjudicial: por un lado (y como acción principal), ocasiona cambios químicos en el aglomerante, y por otro, provoca el deslavado de las sales mencionadas y su consecuente recristalización, ya que la concentración de nitratos en el revoque, y considerando la altísima higroscopicidad de los mismos, genera una inusual absorción de agua por parte de los muros. Destacamos que al ser el nitrato de amonio una sal soluble en agua en proporciones relativamente bajas de dilución (a 20°C , 1 litro de agua disuelve 1,92 kg de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$), esta saturación de los paramentos origina la disolución de las sales y su posterior cristalización superficial al evaporarse el vehículo disolvente. Dicha cristalización se produce precisamente en la interfase mampuesto-revoque, y/o revoque-pintura. Las consecuencias nocivas de esta disolución ya fueron suficientemente explicadas, pero resta por marcar que el contenido máximo de nitratos debiera oscilar entre 200 y 500 ppm (partes por millón), de acuerdo a los umbrales admitidos para las aguas de clase V (Muy Fuerte Agresividad), según las normas europeas. Estos valores responden al G.A.P.f (Grado de Agresividad Potencial final) del agua en cuestión.

Sulfatos.

Al igual que los nitratos, también éstas son sales inorgánicas entre las que se cuentan los sulfatos de amonio, de aluminio, de calcio, de cinc, de cobre, de hierro, de potasio y de sodio.

Todas ellas son sales ácidas (pH entre 4 y 5), que al encontrarse en solución acuosa, reaccionan con la pasta cementicia endurecida al atacar el aluminato tricálcico del cemento (AC_3).

Entre los tipos mas comunes de sulfatos que atacan los morteros, podemos encontrar el sulfato de sodio (sal de Glauber), sulfato de magnesio (sal de Epsom), y el sulfato de calcio (yeso), siendo los dos primeros los mas agresivos por su alta concentración. El mecanismo de ataque, da lugar a la formación de sulfoaluminatos y aluminatos monocálcicos.

Bióticos.

Están dados mayoritariamente por el ataque de bacterias formadoras de sulfatos, bacterias sulfo-reductoras y bacterias ferruginosas.

En el caso de las aguas servidas, aciduladas, se producen daños por acción de bacterias acidificantes, anaerobias, especialmente en presencia de altas temperaturas, que reducen los compuestos de H_2S , formando películas húmedas que se depositan sobre la superficie del mortero. La oxidación provocada por las bacterias aeróbicas, da lugar a la formación de ácido sulfúrico. Respecto de las bacterias ferruginosas, éstas producen desechos conteniendo ácido carbónico. El resultado es un mortero friable y con desagregación de sus elementos componentes.

Acerca de los bacilos nitrificantes, transforman las combinaciones amónicas en nitritos y nitratos, con las consecuencias ya expresadas.

También hay bacterias productoras de ácido láctico y butírico. En cualquier caso, la disminución de la alcalinidad del mortero y de la mampostería en general, conspira contra su integridad.

En el caso que nos ocupa, las aguas pluviales infiltradas al terreno, se detectaron contaminadas con gran cantidad de nitritos y nitratos, provenientes probablemente de los desechos orgánicos de aves y murciélagos que habitan en los techos del templo. Dichas deposiciones acumuladas en las canaletas, son arrastradas luego por la lluvia, y conducidas a través de las cañerías pluviales rotas.

Humedad capilar ascendente.

Se observa en el zócalo del paramento interior del muro fachada, al igual que en todo el perímetro de la iglesia, y en las bases de las columnas que dividen las naves.

Asimismo, sobre el paramento exterior de la fachada se observa un fuerte diaclasado de dicho zócalo, originado en la fuerte retracción por carbonatación atmosférica, que ha provocado incluso el desprendimiento y posterior caída de parte del revestimiento, a ambos lados de la puerta de ingreso central.

El origen de la saturación obedece a fallas de la capa aisladora horizontal. Esto es totalmente lógico si consideramos que por su antigüedad, y la técnica constructiva utilizada en la época en que fue construida (principios de siglo XX), dicha aislación se materializaba con un mortero cementicio amasado generalmente con leche. Esto es así porque la leche contiene caseína, que es una emulsión hidrodispersable de grasa, y como tal, un excelente hidrorrepelente. Como alternativa, solía usarse alguna otra sustancia oleosa o resinosa (por ejemplo aceites vegetales, jugo de tuna, etc), que también presentan características hidrófobas similares a la leche. El problema estriba en que al tratarse de productos biodegradables, poseen una vida útil limitada, razón por la cual luego de algunas décadas, es lógico que colapsen en el cumplimiento de su función. Asimismo, no debe obviarse que los mismos movimientos que determinaron la rotura de la mampostería (el edificio presenta algunas grietas estructurales), han tenido entidad suficiente como para fisurar la capa

aisladora, permitiendo así el ascenso del agua a través de los conductos capilares tanto de los ladrillos, cuanto de los morteros de asiento y del revoque.

Ésto trae como consecuencia la solubilización de sales y minerales que el agua disuelve y arrastra desde el propio terreno, subiendo a través de los conductos capilares de la mampostería, hasta alcanzar el punto donde se reúnen las condiciones de presión, humedad relativa ambiente (HRA) y temperatura, para producir la evaporación del disolvente (agua), y la consiguiente cristalización del soluto (sales minerales o no).

Aquí hay que considerar que los cristales de dichas sales son en general expansivos, es decir que experimentan un aumento importante de su volumen con respecto a los disueltos. Esta expansión determina tensiones de compresión sobre las paredes de los capilares o sobre los poros o bolsones interiores que se encuentran interconectados dentro de la red capilar, presiones éstas que muchas veces no son admisibles por los materiales que conforman la mampostería (mampuestos o morteros de asiento), dando lugar a la fractura de los mismos.

Cuando este fenómeno se produce dentro del muro o del revoque del paramento, se denomina *criptoflorescencia* (de *kriptos* = caverna), y desencadena los efectos descriptos.

Cuando la conjunción de factores que definen el punto de evaporación del disolvente (agua) concurren sobre la superficie del paramento, el fenómeno es mucho menos destructivo y se llama *eflorescencia* (conocida vulgarmente como "salitre").

En este último caso, el síntoma manifestado es la aparición de cristales salinos sobre la superficie de muro, cristales éstos que debido a la sal que les da origen (sales cálcicas), tienen la apariencia de un algodoncillo blanco. También suelen aparecer manchas amarillentas o levemente ocre, derivadas de la oxidación de compuestos metálicos (sales de hierro) arrastrados por el agua en su ascenso capilar.

También incluiremos entre los resultados del ataque de la humedad capilar ascendente, una reacción no absolutamente imputable a ella, que es la *sulfatación de los carbonatos* existentes. En efecto, la saturación del sustrato, crea las condiciones propicias para que, en atmósferas urbanas contaminadas con altos contenidos de azufre, éste combine químicamente con el carbonato de calcio, dando lugar a la formación de sulfato de calcio

(yeso). Ello obedece a la reacción química producida entre los aluminatos contenidos tanto en el cemento portland (aluminato tricálcico) como en la portlandita de la cal.

Finalmente, y entre los efectos producidos por esta lesión, se destaca el fenómeno de *lixiviación* o pérdida de capacidad aglutinante por parte de los ligantes (cemento y/o cal) del mortero, que como ya se explicó anteriormente, obedece a la disolución acuosa de determinados compuestos del cemento (aluminato tricálcico -AC3- y silicato tricálcico - SC3-), haciendo que el mortero se torne friable y sin poder adhesivo. Este fenómeno se conoce también con el nombre de *desagregación* del mortero, y no debe confundirse con el de *disgregación*, que consiste en la expulsión de fragmentos enteros de mortero y/o mampuestos, por efecto de las presiones internas experimentadas a consecuencia de la criptoflorescencia.

En el caso del sector inferior de la fachada, pueden apreciarse ambos fenómenos: criptoflorescencias a ambos lados de la puerta de ingreso sobre paramento exterior, y eflorescencias en todo el perímetro del muro desde el lado interior.

Destacamos que en el interior del templo, el zócalo se encuentra estucado hasta 70 cm de altura, aunque esto no ha impedido el desarrollo del proceso de deterioro citado.

Las mediciones efectuadas mediante el higrómetro de contacto, arrojaron valores de entre 19 y superiores a 28% (límite del rango de lectura del instrumento). Recordamos que estos materiales porosos como las mamposterías, poseen un tope de imbibición del 36% de su volumen.

En la figura 3 se grafican las curvas de iso-humedad relevadas.

La ubicación y extensión de la lesión, está directamente relacionada con la porosidad del muro afectado, con el diámetro de los conductos capilares, con la ventilación del paramento, y con la presión hidrostática dada por la saturación del suelo.

El agua asciende atraída desde el muro por una carga eléctrica de signo opuesto al suyo, formando un menisco característico de forma cóncava, y a una velocidad que se denomina

coeficiente de succión capilar. Este coeficiente está regulado por el diámetro e interconexión de los poros capilares, tanto como por el gradiente de humedad existente desde la superficie.

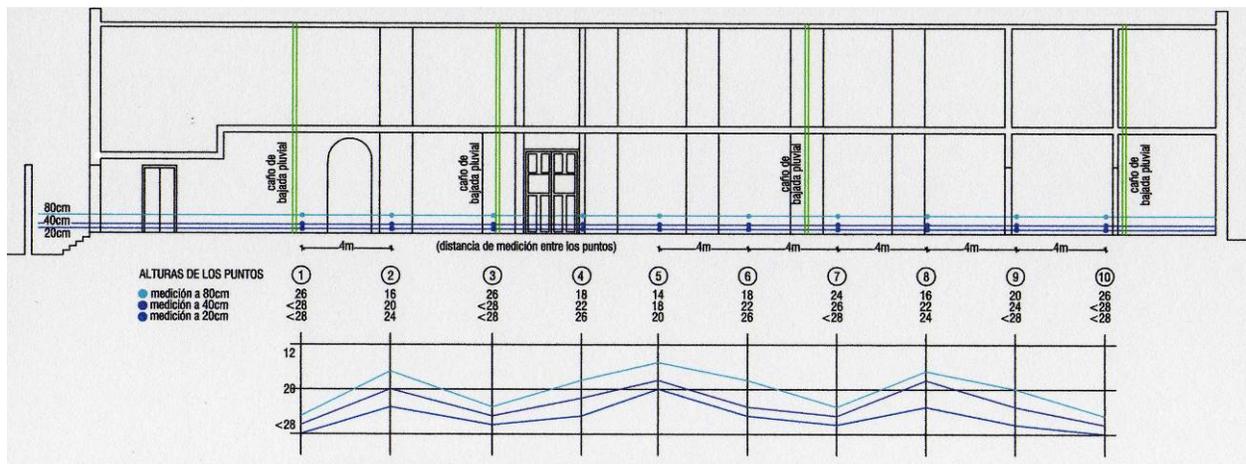


Figura 3. Curvas de iso-humedad relevadas

La ascensión del líquido es debida a la combinación del mojado de la superficie interna del capilar y de la tensión superficial del líquido en cuestión. Cuando éste moja la superficie interior del capilar, la porción de líquido en contacto con la pared tiende a subir, y en cierto aspecto, "deja tras de sí el resto del líquido". Sin embargo, y como las moléculas de dicho líquido no pueden separarse tan fácilmente, con la ayuda de las fuerzas ejercidas por la tensión superficial, todo el conjunto del mismo sube. Así, continuará subiendo mientras pueda mojar la superficie, y hasta que el peso del líquido de la columna, sea igual a la fuerza ejercida por la tensión superficial¹.

La altura a la que se eleva (o desciende) un líquido en un capilar, es directamente proporcional a su tensión superficial, y está en razón inversa a la densidad de dicho líquido. En otras palabras, a menor densidad, mayor altura de ascensión. Efectivamente, el líquido subirá hasta que el peso de la columna que forma dentro del capilar, iguale a la resultante de las fuerzas intersticiales, según la siguiente ecuación:

$$h_{\text{columna}} = \frac{4 \times \text{tensión superficial}}{\text{densidad líquido} \times \phi \text{ capilar}}$$

¹ Lyall y Addleson (1983). "Materiales para la construcción". Volumen 1. Barcelona. Editorial Reverté.

Por otra parte, la ley de Jurín establece que la altura de ascensión será inversamente proporcional al diámetro del capilar, ya que con el aumento de aquel, crece también la circunferencia del conducto y la sección del mismo, lo que determina mayor peso de la columna de agua para una misma altura dada.

Alternativas de solución

Para el tratamiento de las humedades capilares ascendentes, y a efectos de rehabilitar la capa aisladora horizontal (CAH), se consideraron los siguientes métodos:

1. Electro-osmótico pasivo.

Consiste en invertir la polaridad del muro, cargándolo con el mismo signo del agua ascendente, de modo de originar rechazo a dicho ascenso cuando ésta entre dentro del campo eléctrico creado por la nueva capa.

Para ello se consideró canaletear todos los muros afectados desde ambos lados, con una profundidad de calado de 5 cm. Estas canaletas debían ejecutarse entre 15 y 20 cm por encima del límite superior de la línea visible de humedad ascendente (en el caso de niveles variables, se adoptaría la cima más alta, para desde allí comenzar el tratamiento). Dentro de las mismas se dispondrían conductores de cobre desnudo de sección y geometría según cálculo. Estos conductores deben unirse entre sí armando una malla transversal mediante otros similares de igual sección y se conectarían a tierra a través de bajadas de cobre aisladas de sección a definir. El remate de las mismas consiste en jabalinas cuya sección y profundidad se determinarían en obra luego de comprobar la resistividad eléctrica del terreno mediante telúrimetro.

Se estudió asimismo la posibilidad de reemplazar las puestas a tierra por electrodos embutidos en los cimientos de la iglesia. Los mismos se conectarían mediante los conductores aislados ya mencionados.

Los conductores paralelos al muro, embutidos en la canaleta, se conectarían a electrodos de cobre de \varnothing 12 o 13 mm, dispuestos cada 50 cm sobre la línea del canaleteado, hasta alcanzar una profundidad de 2/3 del ancho del muro.

Este sistema presenta la ventaja de ser poco destructivo, pero en su desmedro, influye la necesidad de efectuar un seguimiento mensual de la evolución de los síntomas, para ir bajando las mallas horizontales, de modo de forzar al líquido a seguir descendiendo. También presenta el inconveniente de tener que retirar todos los retablos laterales del interior de la iglesia, a fin de acceder al paramento interior del muro afectado, lo que motivó que fuera descartado .

2. Electro-osmótico activo.

Basado en el mismo principio del anterior, un generador envía impulsos eléctricos a través de un transmisor de alta frecuencia, a electrodos colocados estratégicamente en el muro a tratar. De este modo, invierte la polaridad del muro, rechazando el ascenso del agua.

Su gran contra consiste en que actúa sobre un radio máximo de 10 metros, lo que resulta muy conveniente en plantas de gran densidad de muros, pero es totalmente antieconómico cuando los elementos a tratar son lineales y con gran separación entre sí, como los muros laterales del templo, razón por la cual también fue desechado.

3. Sistema de inyecciones químicas.

El principio físico del mismo se basa en el siguiente concepto teórico:

Si un líquido se extiende sobre la superficie de un cuerpo, dicho líquido "moja" al sólido. Este proceso de mojado ocurre cuando las fuerzas de adhesión en la interfase líquido-sólido, son mayores que las fuerzas de cohesión internas del líquido, que tratan de mantenerlo unido. En el caso de los conductos capilares, ello determinará la formación de un menisco cóncavo, cuyo ángulo respecto de la pared del capilar (determinado por la vertical de la misma y por la tangente del ángulo citado) servirá para mensurar las propiedades de mojado de un líquido (en nuestro caso agua) bajo distintas circunstancias.

Los productos químicos inyectados, actúan modificando dicho ángulo de contacto y haciendo que el menisco mencionado se transforme de cóncavo en convexo. De este

modo, se podrá no sólo detener el ascenso de la humedad, sino lograr el descenso del nivel de líquido en la mampostería.

El método consiste en la aplicación de un compuesto químico líquido, para lo cual deberán perforarse al tresbolillo con taladro, orificios de ϕ 32 mm, hasta los 2/3 de espesor del muro, desde ambas caras del paramento, en dos hiladas paralelas, la primera a 15 cm por encima del piso existente y la segunda 8 cm arriba de la anterior. La separación entre perforaciones de la misma hilada es de 15 cm. No es necesario picar revoques ni desnudar el ladrillo en la zona de trabajo.

Como se trata de productos de penetrabilidad variable en función del solvente que requieran, el ángulo de ataque estará en función del tipo de compuesto seleccionado para cada caso en particular, pero con límites entre los 22° y los 45° respecto de la horizontal. Obviamente el ángulo menor será para los de menor peso molecular, y el de mayor pendiente de aplicación, para los más viscosos (corresponden a compuestos de base acuosa).

Asimismo, según la velocidad de secado del solvente elegido, es de fundamental importancia planificar el trabajo de aplicación, ya que aquel determinará el lapso máximo que pueda esperarse hasta la re-inyección.

Esto sucede porque en algunos compuestos, los polímeros utilizados comienzan a cristalizar en períodos extremadamente rápidos (dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad ambientales), lo que puede impedir la absorción de la re-inyección por parte del sustrato.

Respecto del modo de aplicación, puede llevarse a cabo por vertido del líquido mediante embudo (por colmatación), o como alternativa altamente recomendable, puede reemplazarse por una inyección a presión con compresor o bomba manual, con manómetro para control de tensión de aplicación, sugiriendo no superar a tales fines, los 2 kg/cm².

A efectos de elegir el producto químico a inyectar, este método requiere una serie de estudios que incluyen:

- a) Medición de contenidos de humedad en muros a distintas alturas.
- b) Determinación de potencial hidrógeno (pH) de muros.
- c) Medición de temperatura de contacto del paramento, temperatura ambiental y humedad relativa ambiente.
- d) Pesaje de muestras extraídas.

Una vez realizados los estudios anteriores, y de acuerdo a los resultados obtenidos, deben considerarse (entre otras), las siguientes variables, a efectos de decidir la elección del tipo de compuesto:

- a) Permeabilidad del sustrato.
- b) Potencial Hidrógeno del mismo.
- c) Grado de saturación existente.
- d) Ubicación relativa del elemento a rehabilitar (se relaciona con la velocidad de secado).

Los productos disponibles pueden agruparse genéricamente en tres grandes familias, sin perder de vista que cada una de ellas puede a su vez dividirse en subgrupos, que comprenden muchas variedades de compuestos con distintas características. Las características principales de cada una, son las siguientes:

- *Silicatos y siliconatos*. Son de base acuosa. Baja penetrabilidad (requieren sustratos porosos y saturados). Poca o nula resistencia a álcalis (excepto los macro-alquídicos). Bajo precio. Tiempo de secado lento (mínimo 24 hs, dependiendo de la ventilación y/o asoleamiento del muro tratado).
- *Silanos y siloxanos*. Son de base solvente (se diluyen en alcohol industrial o isopropílico). Buena penetrabilidad (no requieren de sustratos saturados). Resisten sustratos altamente alcalinos. Gran velocidad de secado. Alto precio de la resina y moderado del diluyente.
- *Resinas de siliconas puras*. Son de base solvente (solubilizan en aromáticos fuertes). Excelente penetrabilidad (poseen muy bajo peso molecular). Cuando son específicas para tal fin, resisten sustratos altamente alcalinos y también

radiación UV (pueden aplicarse en exteriores). Gran velocidad de secado. Alto precio de la resina y del diluyente.

El sistema fue descartado por la misma razón de los anteriores: exige desocupar los laterales del templo, para trabajar desde el interior, retirando retablos y zócalos de mármol.

4. Cámaras de descompresión. Cámara Bufa.

Las cámaras de descompresión actúan sobre la humedad ascendente, quitando (como su nombre lo indica) presión hidrostática a los capilares, al generarles mayores superficies expuestas de ventilación, que sirven para favorecer la evaporación del agua ascendente.

Para lograr su cometido, dichas cámaras necesitan de una ventilación importante, que asegure el flujo y renovación del aire saturado. En el caso de las cámaras Bufa, se valen de tubos verticales especialmente fabricados para generar el efecto Venturi.

La eventual fabricación de una cámara Bufa no es privativa de los muros externos (perimetrales), sino que puede ejecutarse perfectamente en los interiores, aunque con la salvedad de que en este último caso, será necesario perforar techos para materializar las ventilaciones, con el riesgo de ingresos de humedad pluvial que eso conlleva.

Básicamente, una cámara Bufa consiste en una zanja practicada junto a la mampostería de fundación, dejando ésta desnuda (sin ningún tipo de revestimiento ni revoque que pudiera impedir o dificultar la evaporación de la humedad desde el muro). Esta zanja debe poseer una entrada de aire exterior, como así también accesos para limpieza periódica de la misma, y salidas a tuberías verticales que ventilen a los cuatro vientos, de modo de reforzar el efecto Venturi antes mencionado.

De esta manera, la humedad ascendente encuentra condiciones propicias (presión, humedad relativa ambiente y temperatura,) para su evaporación, por debajo del nivel de la capa aisladora horizontal, lo que implica que una gran parte de esa humedad desaparecerá sin ejercer presiones sobre la capa horizontal faltante o colapsada.

1. Extracción de solados y demolición de contrapisos.

En la galería del claustro, se extrajeron cuidadosamente los pisos calcáreos existentes, considerando que debían recuperarse para su reutilización. Asimismo, se demolió el contrapiso en la franja a intervenir.

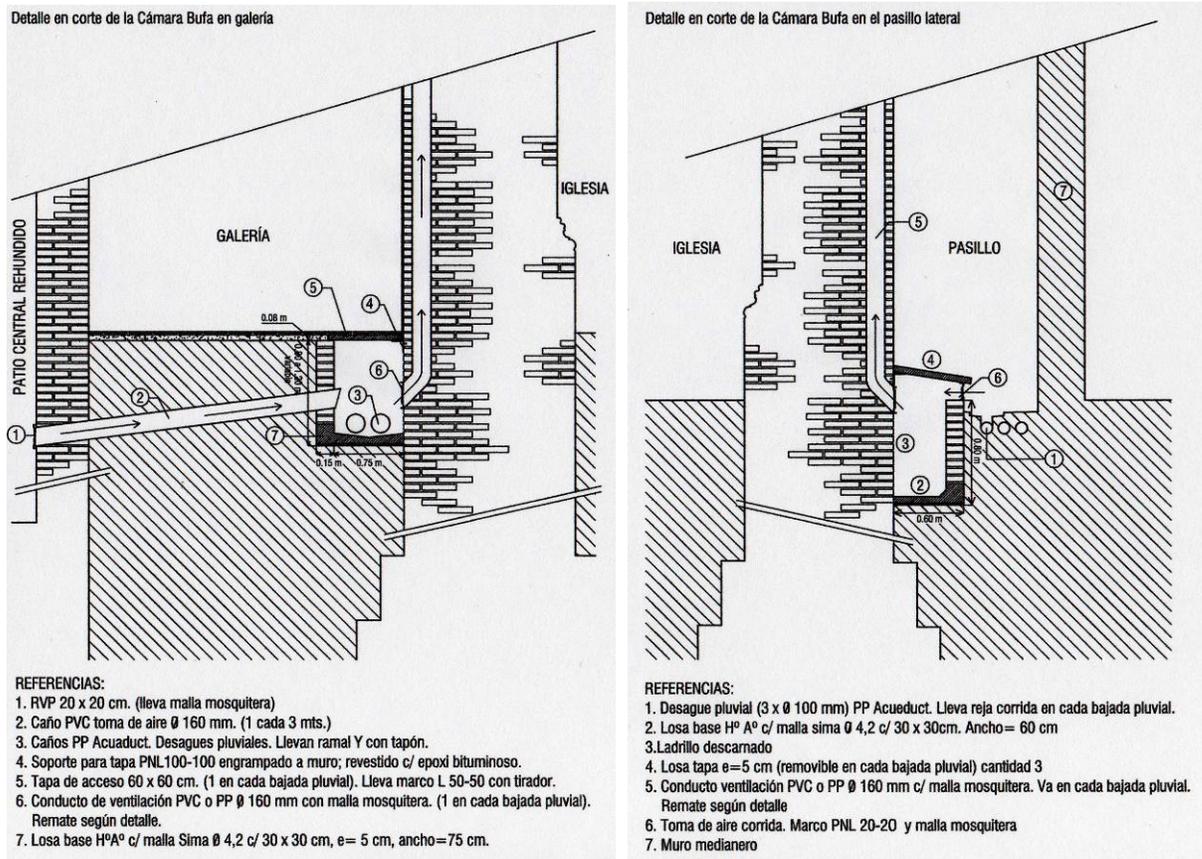
Las superficies levantadas incluyen el recorrido de la cámara indicado en planta, y también el de las tomas de aire desde el patio central rehundido.

2. Excavaciones.

Se excavó a talud vertical, hasta las profundidades indicadas en planos de corte constructivo. Una vez completada la zanja, se apisonó el fondo de la misma mediante vibro-compactadora mecánica, humedeciendo levemente la tierra a compactar.

3. Losa de base.

En el fondo de la cámara se construyó una losa de hormigón armado con una malla Sima de \varnothing 4,2 cada 30 x 30 cm. Dicha losa se perfiló en "V", de modo que ante eventuales fugas de las instalaciones apoyadas sobre ella, canalice el agua hacia la calle. El espesor mínimo fue de 5 cm.



Figuras 5 y 6. Detalles de la Cámara Bufo en la galería y en el pasillo lateral.

4. Construcción de pared lateral.

Ejecutada en mampostería de ladrillos comunes, asentada con mortero cementicio 1:3 (cemento, arena gruesa). Lleva una aislación vertical desde el lado interior, mediante castigado de concreto 1:3, con agregado de hidrófugo inorgánico al 10% en el agua de amasado, alisado a cuchara, sin poros, y pintada con dos manos cruzadas de pintura asfáltica, asegurando un consumo no inferior a 0.5 kg/m².

A fin de contener los empujes laterales del terreno, la mampostería lleva armada una junta horizontal de cada tres.

En el caso del pasillo lateral Sur, la mampostería se eleva 15 cm respecto del nivel de piso terminado, para evitar el ingreso de agua de lluvia a través de las ventanas corridas de toma de aire.

En el muro a ventilar, correspondiente a la mampostería de fundación de los laterales de la iglesia, se eliminó el revoque hasta dejar los ladrillos desnudos, de modo de facilitar la evaporación de la humedad ascendente desde el suelo.



Foto 7. Ejecución de la Cámara Bufo.

5. Tapas fijas y removibles.

Las trincheras cuentan con una tapa de H° A° de 5 cm de espesor. En ambos casos (galería del claustro y pasillo lateral Sur), se colocaron tapas removibles de inspección y acceso, en coincidencia con cada bajada pluvial. Estas tapas fueron montadas sobre marcos metálicos de perfiles ángulo según consta en planos de detalle.

6. Solados.

En la galería del claustro, se recolocaron las baldosas recuperadas, asentándolas con mortero $\frac{1}{4}:1:4$ (cemento, cal, arena gruesa). A continuación se procedió a tomar las juntas de todo el piso de la galería, de modo de igualar el tono y disimular los parches.

En las tapas de inspección, el solado lleva marco perimetral de bronce y manija con tirador central para extracción.



Foto 8 y 9. Tapas de inspección de la Cámara Bufo.

7. Ventilaciones.

En la galería del claustro, se colocaron cada 3 metros, caños de polipropileno castaño de \varnothing 160 mm, con rejilla de ventilación permanente de 20 x 20 cm para toma de aire desde el claustro rehundido. A esta rejilla se le agregó desde el interior una tela mosquitera para impedir el ingreso de insectos y arácnidos a la cámara.

Respecto de la salida de aire, y en coincidencia con cada bajada pluvial, se incorporó embutido en el muro, un caño plástico de PP de \varnothing 160 mm, que remata en una tronera a 40 cm por sobre el nivel de la azotea plana, con rejilla de ventilación y tela mosquitera. En el caso del lateral Sur, estas salidas son de chapa galvanizada y van a la vista.

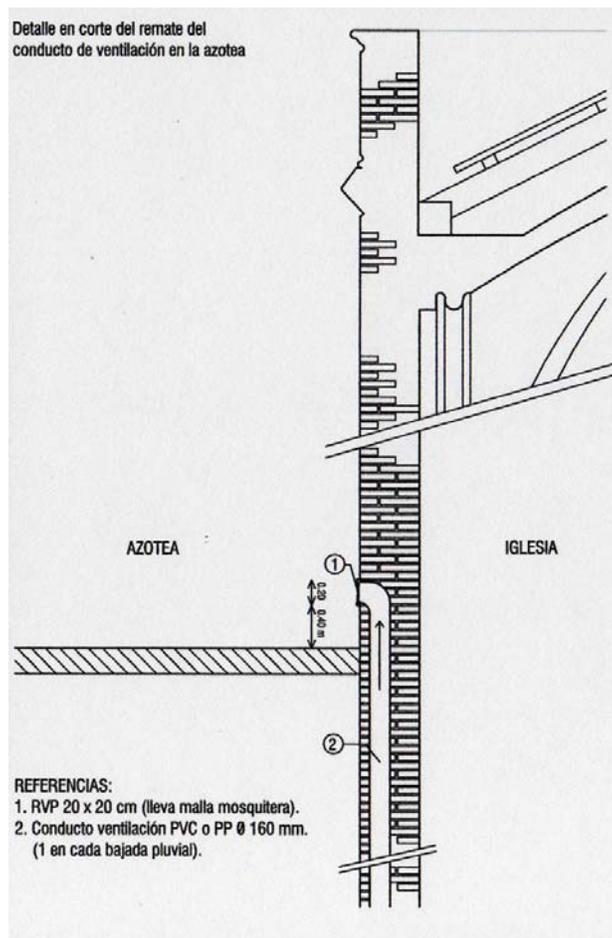


Figura 10. Detalle de remate del conducto de ventilación.

8. Instalaciones de desagüe pluviales.

En la galería del claustro, se colocaron directamente sobre la losa de fondo, en tanto que en el pasillo lateral, fueron enterradas paralelas a la cámara Buffa.

Estos desagües consisten en caños paralelos de \varnothing 160 mm de PP castaño, con unión mediante o´ring de doble labio de neopreno, aumentando en número a medida que se suman bajadas pluviales. En cada cámara de inspección, se dejó un ramal Y con tapón, para poder cablear ante eventuales taponamientos.

Estos caños desaguan sobre el cauce de la Cañada, para lo cual se buscó el caño existente de \varnothing 400 mm, conectándose a aquel mediante una cámara de salto.

Asimismo, en ambos laterales (pasillo y claustro), se cambiaron las bajadas existentes por caños de \varnothing 100 mm del mismo material al descrito, considerando que sobre el techo de la galería, cada bajada parte de un doble embudo colocado en cada boca de desagüe de la azotea plana, de modo de aumentar el margen de seguridad de la evacuación pluvial ante posibles obstrucciones.

Tratamiento del Zócalo de muros del bajo coro y naves laterales

En todos los muros perimetrales del bajo coro, como asimismo en los muros laterales del templo, por detrás de los confesionarios (y exceptuando los paños detrás de los retablos existentes), se procedió de la siguiente manera:

1. Demolición del revoque existente hasta la altura del actual zócalo estucado, hasta dejar la mampostería a la vista. A continuación, aplicación de bloqueador hidrostático cementicio aditivado con dióxido de silicio en una franja que abarca todo el ladrillo expuesto, excepto los 15 cm inferiores que quedan desnudos.
2. Sobre esta capa impermeable vertical, se ejecutó el jaharro con terminación fratazada, con un dosaje $\frac{1}{4}$:1:4 (cemento, cal, arena gruesa), llevando como terminación un revoque fino similar piedra, similar al existente en el interior del templo, con buñado imitando una sillería de piedras (almohadillado).
3. A fines de aliviar la presión capilar sobre la mampostería de ladrillos de los muros,

se procedió a descarnar el sector inferior de los mismos, dejando una franja de 15 cm de altura de ladrillo desnudo para ventilar e inspeccionar, cubierta con una chapa de acero inoxidable calibre 16 (a la fecha, aún no ejecutada), perforada al 60%, plegada en sus bordes para otorgarle rigidez, tomada al muro cada 50 cm. A efectos de salvar el vacío detrás de la chapa y poder ajustar el tornillo de sujeción, se colocará en coincidencia con cada anclaje, un taco de madera de modo de otorgar un sustrato firme contra el cual atornillar.

Asimismo, y para actuar sobre los efectos una vez eliminada la causa, se procederá a la desalinización de todos los sectores afectados por acción de la humedad. A fin de remover las sales mencionadas, la solución consiste en aplicar una pasta de pulpa de celulosa o de cualquier arcilla higroscópica, saturada en agua destilada, sobre la superficie del muro que se desea desalinizar. Debe dejarse actuar no menos de 48 horas, para que las sales solubles pasen por difusión a través del mortero, al emplaste aplicado. Una vez seco, se retira y se verifica el contenido remanente de sales en el sustrato, a fin de ver si es necesario repetir la operación. Generalmente no se requiere de más de dos aplicaciones.

Finalmente, cuando ya la concentración de sales es tan pequeña que no se eliminan con la mera colocación de un nuevo apósito, puede fijarse el remanente a través de un rociado con cloruro de bario, que ancla las sales al formar sulfato de bario insoluble, y libera hidróxido o cloruros solubles que pasan al emplasto de celulosa o arcilla, y de esa manera son retirados del sustrato.

En los sectores de zócalos de mármol, se aplicará una variante de la solución anterior, la limpieza por emplastes. Similares a las utilizadas para la desalinización, el método radica en la aplicación de cataplasmas de arcillas muy finas (generalmente sepiolita o atapulgita) saturadas con agua desmineralizada. Éstas sirven para absorber manchas de suciedad del sustrato y restos químicos de otros productos de limpieza aplicados previamente, disuelven sulfatos (yesos), y absorben sales y productos corrosivos. No deben aplicarse sobre superficies porosas, sino bien pulimentadas, tales como mármoles u otros pétreos.

Su límite de efectividad está dado por el espesor de la capa a remover, la que no debe superar el milímetro de grosor. Aún así, deberá repetirse el tratamiento tantas veces como

sea necesario hasta lograr la limpieza deseada (en ocasiones se renuevan hasta 20 cataplasmas antes de conseguir el efecto buscado). Para una mayor eficiencia, conviene remover previamente cualquier película impermeable o de cera que pudiera dificultar la absorción por parte de la arcilla.

Verificación de resultados

A casi un año de concluida la obra de la cámara de descompresión, se realizó durante dicho período, un seguimiento trimestral que incluyó el relevamiento de contenidos de humedad en los muros tratados, verificándose un considerable descenso en los niveles de la misma.

En la figura 11 se representan los valores obtenidos en la última medición, registrada en el mes de mayo de 2008, a once meses de su puesta en servicio.



Figura 11. Curvas de iso-humedad registradas en la última medición

Conclusiones

La transmisión generacional de nuestro patrimonio edificado se ve condicionada tanto por la degradación propia de los materiales y por la obsolescencia de los sistemas constructivos, como por la renovación de las necesidades funcionales que llevaron a erigirlo, y que conducen con frecuencia a cambios de destino.

Indudablemente, concordamos con Jeroni Martorell, cuando en 1913 dijo que *"...lo ideal sería no tener que restaurar sino conservar los edificios con cuidado constante"*.

Tenemos el convencimiento de que sólo es posible valorar y conservar lo que se conoce, pues más allá de las buenas intenciones o de las posturas románticas del conservacionismo a ultranza, es imprescindible disponer de un bagaje técnico que permita materializar nuestros anhelos.

Consecuente con esa convicción, se ha pretendido en esta ponencia, investigar y analizar la mayor cantidad posible de métodos y técnicas de tratamiento y rehabilitación ante humedades capilares ascendentes.

Las técnicas de recuperación y prevención, tanto las nuevas (inyecciones químicas, método electro-osmótico activo, etc) como las tradicionales (cámaras de descompresión), unidas a la aparición y desarrollo de nuevos materiales y métodos de aplicación, le posibilitan una expectativa de vida útil cada vez mayor.

No obstante, debemos trabajar con la humildad derivada de conocer la finitud de nuestras obras. Al respecto, no debemos olvidar la filosofía de la durabilidad de los materiales, expresada por Clark en 1898:

"Aunque a veces, por ignorancia, el carácter perecedero de todas las cosas que nos rodean es motivo de lamentaciones, no podemos olvidar que la destrucción y renovación son causas esenciales de la vida, la belleza y la armonía".

Bibliografía consultada

1. Lyall y Addleson (1983). "Materiales para la construcción". Volumen 1. Barcelona. Editorial Reverté.
2. Zanni, E. (2008) "Patología de la Construcción y Restauo de obra de Arquitectura". Córdoba. Editorial Brujas.
3. Eichler, F. (1978) "Patología de la construcción". 1º reimpresión. Barcelona. Editorial Blume.
4. Ulsamer, F. (Mayo de 1981) "Las humedades en la construcción". 22º edición. Barcelona. Ediciones CEAC.
5. Zanni, E. (2008) "Breve análisis de las lesiones mas frecuentes y métodos de limpieza de fachadas con revoques simil piedra". Córdoba. Cuadernillo del Instituto de Conservación del Patrimonio Arquitectónico. FAUDI. UNC.
6. Autores varios (1979) "Apuntes sobre materiales de construcción y su patología" Tomo II. Madrid. Curso de estudios mayores de la Construcción. Instituto Eduardo Torroja.