

ANÁLISIS PATOLÓGICO DE LOS PARAMENTOS DE LA MURALLA ALMOHADE DE SEVILLA TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PUERTA DE LA MACARENA Y EL JARDÍN DEL VALLE

José María Calama – Jacinto Canivell

Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Sevilla; Avda de Reina Mercedes, 4B; 41012 – Sevilla (España).

Palabras clave: tapial - patologías - restauración

Resumen

En la presente ponencia se sintetiza un trabajo de investigación que se realiza en el seno del Grupo de Investigación: Construcción Patrimonial, adscrito al Departamento de Construcciones Arquitectónicas 2 de la Universidad de Sevilla, y en el que se analiza la patología causal de lesiones presentes en el tramo de la muralla almorávide-almohade de Sevilla, construida en tapial, y que se extiende desde la Puerta de la Macarena hasta el Jardín del Valle.

El estudio se considera un paso previo al conocimiento y sistematización de la patología que afecta a las fábricas de tapial y con el fin de determinar una metodología sintomática. Aunque para ello se haya iniciado el estudio a partir de una localización física concreta, consideramos que la entidad del estudio y la singularidad de la construcción, van a permitir extraer conclusiones de carácter general, válidas para las fábricas de tierra en un sentido más amplio.

Este tipo de construcciones fortificadas con técnicas de tapial poseen características específicas que las hacen singulares, entre ellas podemos destacar:

- El gran espesor de sus paños, que hace que las tradicionales técnicas se adapten¹.
- La masa del muro está formada por una mezcla de tierra, cal, y cantos, lo que lo convierte casi en un hormigón y lo hace menos homogéneo que los tradicionales de tierra.
- Los muros no suelen estar protegidos en la parte superior, bien por que nunca la hayan tenido o por que haya desaparecido. Esto suele ser uno de los factores que agravan las patologías y aceleran el deterioro progresivo. Aunque gracias a ello se pueden observar un amplio abanico de sintomatologías.

Se trata, por tanto, de un proceso que es el inicio de una serie de estudios de investigación, cuya finalidad se orienta a la búsqueda de conclusiones que puedan servir de base a los proyectos de mantenimiento y de restauración de las construcciones de tapial y, en todo caso, plantear avances en el conocimiento de los comportamientos físico-constructivos de este singular sistema constructivo, que puede ser considerado fundamental, desde el punto de vista histórico y tradicional, en nuestras construcciones.

Consideraciones previas

Los restos de la muralla de Sevilla que comprende nuestro análisis, corresponden a dos tramos, prácticamente exentos en todo su recorrido. El primero se extiende desde la Puerta de la Macarena hasta la Puerta de Córdoba (es el tramo de la muralla conocida como “de la Macarena”) y el segundo desde la Puerta del Sol a la Puerta del Osario (también conocido como “muralla del jardín del Valle”).

Se trata de parte de la cerca mandada construir por el sultán almorávide Alí Ibn.Yusuf, que gobernara e Sevilla desde 1109 a 1143. Y aunque fueron precisamente los almorávides los que generalizaron en *Al Andalus* el uso del tapial para la construcción de las fortificaciones², este sistema constructivo ya venia siendo utilizado en muchos tipos de edificaciones desde la época romana, e incluso tenemos excelentes construcciones de la época Califal mandadas levantar por ‘Abd al-Rahmân III o al-Hakam II, como la fortaleza de El Vacar, en Córdoba, o la de Baños de la Encina en Jaén³.

Hasta ahora se ha demostrado por medio de dataciones arqueológicas que el uso del tapial se generalizó, sobre todo para la realización de grandes obras, a partir del siglo XI, coincidiendo con al desmembración del Califato de Córdoba y la llegada de oleadas de bereberes procedentes del norte de África. La gran ventaja de este sistema constructivo consiste en la fácil y rápida puesta en obra en comparación con una fábrica de sillería. Esto fue aprovechado por distintas formaciones sociales, ya sea dentro del territorio musulmán (por las facciones que se enfrentaban al gobierno establecido), como por los mismos señores feudales. Así cada uno de los reinos Taifa que se generaron tuvieron la necesidad de defenderse tanto de los invasores del norte África como de las incursiones cristianas.

El tapial de la muralla que comprende nuestro estudio no es el clásico de “tierra”, usado en muchas de las construcciones de nuestros pueblos, sino el que se conoce como “tapial de argamasa” ya que está conformado por cal, arena y guijarros. Los cajones (también denominados “hormas”) son de un tamaño bastante uniforme. Habiéndose comprobado que su longitud oscila entre los 2,00 y los 2,25 metros de largo y la altura entre los 0,79 y 0,85 metros.

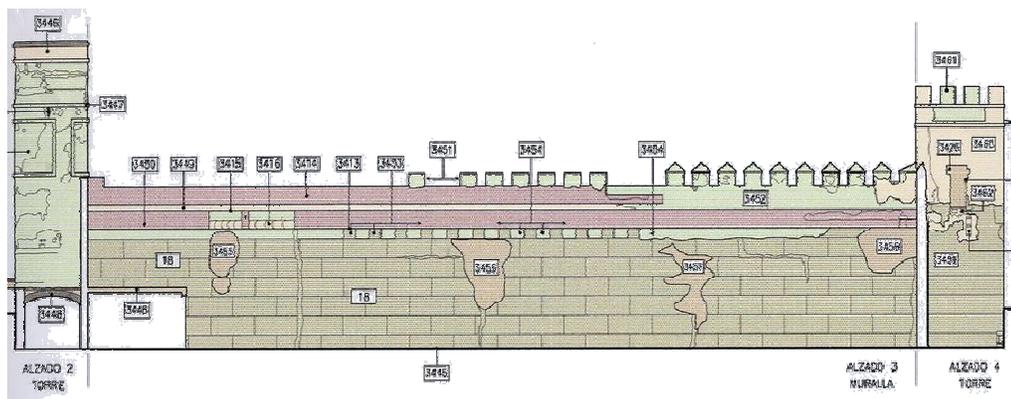
El tramo que nos ocupa contiene diez torres (contando como tales la puerta de la Macarena y la de Córdoba) que son macizas hasta la altura del camino de ronda y a partir de aquí disponen de cámaras. En esta zona superior de las torres, cambia el sistema constructivo predominando la fábrica de ladrillo. De hecho, las cubiertas de las cámaras son bóvedas de diversos tipos (cañón, esquinadas, vaídas, etc.).

La mayor parte de la zona de muralla que comprende nuestro análisis conserva los merlones del almenado del muro, incluyendo la coronación piramidal, pero al haber perdido el revestimiento de protección se puede observar claramente como se trata de adosados superpuestos, aunque todo parece indicar que se han realizado con materiales similares a los primitivos, macizando los huecos del almenado⁴.

Toma de datos

Para realizar el análisis patológico, sobre todos los paramentos de la cerca y de la barbacana se han ido identificando las diferentes lesiones o sintomatología patológica observada y se han reflejado en un alzado murario a partir de una serie de grafismos. Este primer análisis permite visualizar la sintomatología del paramento en una primera y elemental aproximación, para proceder a posteriori a una profundización y estudio pormenorizado de los análisis específicos de cada caso.

También se ha realizado un fichero en la



que se explica la lesión, origen y circunstancias, como pueden ser la ubicación, la orientación, el nivel de exposición, etc., de manera que pueda disponerse del mayor número de datos posible para su posterior estudio.

La toma de datos se ha realizado con el apoyo de unas fichas de diagnóstico. La elaboración de las fichas se engloba dentro de la estrategia general del proyecto de investigación BIA2004-01092, por la que se trata de generar una catálogo de edificaciones construidas con técnica de tapial en la provincia de Sevilla.

En ellas se reflejan una serie de datos organizados en cuatro bloques temáticos, respondiendo cada uno a una ficha-diagnóstico diferente.

- Ficha nº 1. Corresponde a datos de carácter general que sirvan para clasificar el edificio y su entorno desde un punto de vista tipológico e histórico. Así mismo hace referencia a documentos gráficos adjuntos (fotografías, planimetría y ensayos de laboratorio). Cada ficha corresponde a un ejemplo edificado concreto y se identifica con unos códigos atendiendo a la localización geográfica y al tipo de edificio.
- Ficha nº 2. Analizamos aquí las características físicas de la fábrica de tapial como pueden ser dimensiones de los cajones, altura y grosor de muro y en caso tener ensayos, una descripción de la composición química, proporciones de materiales o granulometrías. Así mismo se clasifica el tipo de técnica constructiva de tapial utilizado.
- Ficha nº 3. Está destinada a las patologías y las lesiones de la fábrica. Siguen un patrón similar a las lesiones descritas en este artículo. Cada grupo de lesión identificado se relaciona con un documento fotográfico igualmente codificado.
- Ficha nº 4. Se describen propuestas de intervención y conservación propuestas, en caso de requerirlas.

FICHA DE DIAGNÓSTICO				3/4
DATOS GENERALES				
Denominación		Código SEMA 1		
PATOLOGÍAS - LESIONES				
LESIÓN	TIPO		FOTOGRAFÍAS	
Humedades <input type="checkbox"/>	Absorción	<input type="checkbox"/>		
	Filtración	<input type="checkbox"/>		
	Condensación	<input type="checkbox"/>		
	Comentarios:			
LESIÓN	FACTORES		FOTOGRAFÍAS	
Pérdida masa <input type="checkbox"/>	Antigüedad	<input type="checkbox"/>		
	Orientación	<input type="checkbox"/>		
	Exposición	<input type="checkbox"/>		
	Comentarios:			
LESIÓN	TIPO	FACTORES		FOTOGRAFÍAS
Erosiones <input type="checkbox"/>	Físicas <input type="checkbox"/>	Viento	<input type="checkbox"/>	
		Agua	<input type="checkbox"/>	
		Sol	<input type="checkbox"/>	
	Químicas <input type="checkbox"/>	CO ₂	<input type="checkbox"/>	
		Otros	<input type="checkbox"/>	
		Comentarios:		
LESIÓN	TIPO		FOTOGRAFÍAS	
Grietas (apertura > 1mm) <input type="checkbox"/>	Superficiales	<input type="checkbox"/>	Muertas	<input type="checkbox"/>
	Estructurales	<input type="checkbox"/>	Vivas	<input type="checkbox"/>
Fisuras (apertura > 1mm) <input type="checkbox"/>	Superficiales	<input type="checkbox"/>	Muertas	<input type="checkbox"/>
	Estructurales	<input type="checkbox"/>	Vivas	<input type="checkbox"/>
Comentarios:				
LESIÓN	TIPO		FOTOGRAFÍAS	
Eflorescencias <input type="checkbox"/>	Superficiales	<input type="checkbox"/>		
	Internas	<input type="checkbox"/>		
	Comentarios:			
LESIÓN	TIPO		FOTOGRAFÍAS	
Suciedades <input type="checkbox"/>	Uniforme	<input type="checkbox"/>	Adherida	<input type="checkbox"/>
	Localizada	<input type="checkbox"/>	Costra	<input type="checkbox"/>
	Comentarios:			
LESIÓN	TIPO		FOTOGRAFÍAS	
Biológicas <input type="checkbox"/>	Vegetales	<input type="checkbox"/>	Animales	<input type="checkbox"/>
	Hongos	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Comentarios:			

Lesiones

Para realizar el análisis hemos considerado una acepción amplia del concepto de "lesión", partiendo de la base de que se trata de un síntoma patológico, en el que cabe cualquier tipo de alteración o pérdida, ya sea de tipo local o general, de las funciones propias del sistema constructivo, en sus diversos conceptos: estructural, de cerramiento y protección, decorativos, etc.

Por ello, en lo que a los síntomas patológicos se refiere, se ha decidido adoptar un grupo de lesiones genérico de los sistemas constructivos murarios y de cerramiento. Aunque lógicamente, hemos tenido en consideración los materiales elementales y los procedimientos de construcción usuales del tapial. También se ha decidido optar por plantear definiciones claras y diferenciadas, para facilitar el análisis.

En este sentido hemos estimado los siguientes tipos de lesiones:

- Las causadas por la humedad (de distinto origen)
- Las pérdidas de masa y desprendimientos de materia
- Las erosiones
- Las grietas y fisuras
- Las eflorescencias
- Las causadas por la suciedad (de origen diverso)
- Las de causas biológicas
- Intervenciones posteriores.

1.- La humedad como origen de lesiones

Aunque la humedad en sí misma no puede ser considerada propiamente como una lesión, si es un síntoma importante de una presencia anómala de agua que puede suponer un riesgo potencial de deterioro del elemento constructivo y, sobre todo, esa agua que origina la humedad puede ser el origen de otras patologías.

En este sentido, para considerar la humedad como causa de alguna lesión en las fábricas de tapial, partimos de la base de que la presencia de agua es indeseada en ciertas zonas, épocas y períodos variables. Lógicamente nos referimos a agua en estado líquido, ya que en estado gaseoso no puede hablarse propiamente de humedad.

La aparición de la humedad en un paramento puede llevarnos, en general, a diversos estados patológicos como:

- a) Ambiente inapropiado para cohesión de los materiales del tapial, especialmente en los casos de pérdidas de la protección de cal.
- b) Alteraciones de las cualidades del paramento, al producirse disgregaciones, disociaciones y descomposiciones físicas, químicas y biológicas del tapial.
- c) Efectos antiestéticos en los paramentos a causa de la aparición de manchas, abombamientos, cambios en textura y color, etc.

La aparición de manchas de humedad en un paramento de tapial es, con mucha frecuencia, causa de riesgo de deterioro potencial, al tratarse de un sistema constructivo basado en el proceso de fabricación de "tierra" compactada "in situ". En este aspecto es muy importante el contenido de cal, ya que a falta de esta y el aumento de la humedad, se puede originar la descomposición de la mezcla de tierra y árido y, consecuentemente, acelerar el proceso de deterioro. De ahí, como indicamos, la importancia del contenido de cal en la composición del tapial, especialmente, para hacer frente a daños cuyo origen está en cualquier tipo de humedad.

Aunque en la práctica, la persistencia de la humedad sobre las fábricas de tapial, es origen de otras lesiones incluso más graves, al comportar riesgos mayores para la fábrica, por la alteración de los componentes, los desprendimientos de material o los daños que puedan producirse en periodos de heladas.

Por ello, la protección frente a las inclemencias climatológicas es uno de los principales conceptos definidores del paramento usado como cerramiento. Por ejemplo, en el caso del análisis del sistema constructivo que estamos analizando, al tratarse de un muro de cerca defensiva que expone a los agentes atmosféricos ambos paramentos e incluso su coronación, el ataque del agua puede ser causa de lesiones que pueden llegar a deteriorar todo el sistema constructivo, especialmente en los casos en que se pierde su principal protección: el revestimiento de los paramentos.

En nuestro análisis, y teniendo como base la variedad de características que concurren en las fábricas de tapial, como pueden ser la capacidad de absorción de agua, la procedencia o la forma de extenderse el agua en la unidad constructiva, hemos distinguido los siguientes tipos de humedades por su origen:

A. Humedad por filtración.

Cuando el agua el agua pasa a través de los intersticios macroscópicos de un modo directo (por ejemplo fisuras o pérdidas de material en el paramento). Favorecen este paso, la acción de la gravedad y del viento. Como ejemplo podemos citar la entrada de agua de lluvia en el núcleo del tapial, por los espacios entre fisuras, o en zonas donde haya desaparecido la protección superficial. (Foto 1).



(Foto 1)

B. Humedad por absorción.

Se trata del agua que pasa a través de intersticios microscópicos del material. A este paso colabora la acción conjunta de fuerzas internas de tensión superficial y es independiente de la acción del viento o de la gravedad. Siendo determinante, sin embargo la capilaridad del material y la humedad exterior (foto 2). Un ejemplo de este fenómeno es la ascensión del agua desde la base de los muros en contacto con zonas húmedas (capilaridad).



(Foto 2)

C. Humedad por condensación

No es un tipo de humedad corriente en paramentos exteriores, ya que este tipo de humedad se produce al alcanzar el aire la temperatura de rocío, generalmente, sobre superficies frías, en las que se forman gotas de agua que se depositan sobre estas superficies y que debido a la adhesión mutua y a la gravedad se van agregando hasta formar mayores extensiones de humedad.

Sin embargo hemos considerado importante incluir esta tipología de humedad en los análisis, por tratarse de una patología compleja de analizar, especialmente en aquellos casos en los que la fábrica de tapial se emplea como elemento de cerramiento de la edificación. Es el caso, por ejemplo, de las cámaras localizadas en la torres de la muralla y en las que se han cerrado los vanos, aumentando las posibilidades de condensación.

Hemos de dejar constancia que en este tipo de humedad no existe una penetración o un transporte de agua, como en los casos anteriores, si no que se trata de un cambio de estado físico. Por eso, este tipo de humedad -por condensación- puede ser una causa de deterioro del paramento, ya que no afecta sólo a su superficie, sino que se puede dar en los intersticios de los elementos si en éstos se alcanza la temperatura de rocío.

1.1. Análisis metodológico

Para analizar el fenómeno de la humedad en los paramentos de tapial, hemos de tener presente que estos tipos descritos anteriormente, no siempre son fáciles de determinar, al menos con una claridad sintomática que permita su rápida identificación. Más bien podríamos decir lo contrario, ya que frecuentemente se dan varias causas a la vez y, por ejemplo, una humedad que tiene su origen en una filtración, es seguida de una absorción por los distintos materiales, con lo que, a su vez, puede enfriar el elemento constructivo en el que se localiza, con lo que se favorece una posible condensación.

Por ello hemos de prestar gran atención a la investigación sintomática y científica que permita llegar al origen de la lesión. Esta sería la causa que precisa de reparación, como primer paso, aunque también fuese necesario reparar las lesiones originadas en el paramento, por el resto de las causas. Para ello es indispensable seguir procesos de análisis lógicos, en los que conviene tener en cuenta la mayor cantidad de datos posibles, como por ejemplo:

a) En los casos de humedad por filtraciones, se debe establecer, del mejor modo posible, la relación causa-efecto, a partir de la investigación de los hechos o las circunstancias concurrentes, tanto antes como después de la aparición de la lesión. Establecer el carácter periódico o permanente; la relación con fenómenos naturales o no naturales. Las filtraciones en las zonas bajas de los edificios tienen su origen más común en pérdidas de conducciones (tanto de redes de agua limpia a presión como redes potables, zonas de riegos, etc.), como de agua limpia sin presión (recogidas de pluviales, depósitos...) y, por supuesto agua sucia (alcantarillado). No hay que olvidar que aunque las filtraciones de agua tienen, en general, un carácter muy localizado, no es extraño que se produzcan difusiones.

b) En los casos de humedad por absorción, lo más común es que tenga su origen en un foco húmedo o que proceda de una filtración anterior. En este caso es necesario analizar su extensión y su trayectoria, ya que estas dependerán de la capilaridad de los componentes del tapial, pudiendo admitir más cantidad de agua según la superficie expuesta y de la posibilidad que tenga de secarse desde el interior.

En estos casos, el agua que aparece en la superficie, se encuentra retenida entre los gránulos y la posibilidad de su paso al interior del muro dependerá de la facilidad de penetración a causa de la superficie específica de gránulos del tapial o por los sucesivos estados de humedad y sequedad del muro.

Este tipo de humedades aparece con bastante frecuencia en las zonas bajas de los muro y, sobre todo, cuando el nivel freático afecta a los cimientos. La extensión y trayectoria de la lesión no es arbitraria ya que guarda relación con la porosidad de las fábricas, con la ventilación de los paramentos y, como hemos indicado, con los niveles freáticos del suelo.

El ascenso del agua por capilaridad depende de la estructura celular de la "tierra" compone el tapial, ya que esta puede ser abierta (capilares), cerrada (burbujas) o mixta, siendo la primera la más desfavorable. El agua asciende hasta que el incremento de peso de las micro-columnas es capaz de contrarrestar la resultante activa de las fuerzas intersticiales. Para hacernos una idea, damos como referencia los siguientes datos:

Para 1 mm. de diámetro el agua sube 15 mm.

Para 0,01 mm. de diámetro el agua sube 15.000 mm.

Para 0,0001 mm. de diámetro el agua sube 150.000 mm.

El entorno urbano inmediato puede ser también un factor a tener en cuenta. Las murallas se construyeron rodeadas de una escasa o nula pavimentación, y en cualquier caso era bastante permeable al vapor. Con la llegada de los pavimento con base asfáltica (mucho más impermeables) se varían las rutas de intercambio de humedad, haciendo que la vía con menos resistencia al paso del vapor sea la propia masa del muro, lo que evidentemente ayuda a la aparición de nuevas patologías.

c) Y en cuanto a lo que se refiere a la humedad por condensación, ya hemos avanzado que se trata de una lesión poco usual en los paramentos como el que se estudia en el presente análisis, pero no por ello pierde su carácter de patología a considerar.

En el aire del ambiente hay siempre una proporción de vapor de agua variable. Las cámaras que se pueden localizar en la muralla se encuentra por lo general cerradas entre paredes de tapial, y pueden verse afectadas por la evaporación natural del ambiente a causa de estos intercambios de humedad que hacen variar estos niveles de humedad relativa. La producción de vapor dependerá lógicamente de las estancias (p.e. de las condiciones de su interior, etc.), que harán variable la disipación del vapor en su volumen de aire. En cualquier caso, una condensación en el interior de los muros de tapial puede dar origen al entumecimiento de los materiales, produciendo variaciones dimensionales.

Así pues, es importante tener presente que para el control de las condensaciones habrá que tener en cuenta las posibles fuentes de humedad. En los casos de estancias habitadas es especialmente importante: la ventilación adecuada (continua y suave, o brusca y rápida, manteniendo la inercia del cerramiento), la temperatura adecuada para el interior, y la estanquidad y el aislamiento del tapial.

No obstante lo anterior, también conviene tener presente que el vapor de agua se difunde a través de los materiales, entre sus capas, ofreciendo mayor riesgo los cerramientos en contactos con ambientes más fríos. Por esta causa, cuando el cerramiento de tapial se utiliza con función de aislamiento térmico –o de control de la temperatura- es muy importante, para que no pierda su función, controlar la diferencia de presiones de vapor, interponiendo barreras que mantengan el vapor de agua en las caras que no han alcanzado la temperatura de rocío.

1.2. Prevención y reparación

Lógicamente cada caso analizado requerirá su estudio y, por consiguiente, requerirá una solución particular. No obstante, se puede llegar a generalizar una serie de reparaciones de algunas lesiones, también de carácter más general, originadas por la humedad.

Clase de humedad	Causas probables	Posibles reparaciones
Filtración generalizada en planos horizontales	Materiales de coronación del muro disgregados	Reparar sus juntas o impermeabilizar la superficie
	Insuficiente pendiente	Mayorar la pendiente. Impermeabilización bajo la capa de protección
Filtración generalizada en planos horizontales	Materiales excesivamente permeables o porosos	Revestimiento continuo impermeable aunque transpirable
Filtración generalizada en planos verticales	Pérdida del revestimiento de protección	Sustituirlo con un revestimiento permeable pero transpirable
Filtración lineal	Por fisuras y/o grietas	Revisar la estructura y sus juntas. Recubrir las uniones
Absorción generalizada y/o localizada	Excesiva permeabilidad de la fábrica	Protección con revestimiento superficial
	Excesiva porosidad de la fábrica	Protecciones en el seno de la masa (aditivos hidrófugos) Creación de barreras capilares
	Imbibición permanente de la fábrica	Sistemas de desecación continua

2. Pérdidas de masa y desprendimiento de material

En esta ocasión se trata de una lesión bastante frecuente en las fábricas de tapial, consistente en la separación de los componentes que conforman la masa de “tierra, árido y cal” compactada en los cajones.

La consecuencia de esta lesión es doble; por un lado el detrimento estético del paramento y por otro el deterioro de la fábrica con efectos estructurales y de pérdida de resistencia y protección.

Los desprendimientos de la masa de tapial suelen ser consecuencia de una mala ejecución. Bien por el empleo de materiales de baja calidad, bien por defectos del proceso constructivo. Aunque en la época actual en la que los muros de tapial están expuestos a mayores agresiones de tipo ambiental, también influye la falta de mantenimiento (foto 3).

Como datos de interés para el análisis de la lesión, además de los reseñados, es interesante hacer referencia a otras circunstancias, como son:

- la antigüedad de la fábrica
- la orientación del paramento lesionado
- la exposición

La antigüedad es un factor a considerar porque está muy relacionado con la pérdida de las características intrínsecas de los materiales. La cohesión entre la tierra, la cal y los áridos, va disminuyendo, en gran parte debido a procesos de erosión causada por diversos agentes, entre los que cabe destacar los atmosféricos.



(Foto 3)

La orientación es importante por su relación con estos agentes atmosféricos mencionados anteriormente, lo que puede influir en cambios bruscos de la temperatura del paramento, la mayor incidencia del agua de la lluvia... Aunque ya hemos hablado de que el agua de lluvia puede producir lesiones sobre la fábrica de tapial por su acumulación en ciertas zonas, en pequeñas cantidades va debilitando la adherencia entre los materiales y si a esto le añadimos el efecto de la helada, tendremos un factor muy importante de cara a la lesión de desprendimiento de masa.

Y en cuanto a la exposición, va muy ligada a la propia orientación, pero puede afectar a todo el paramento de la fábrica de tapial o solo a parte de ella; cuanto mayor sea el grado de exposición menos protegido quedará el paramento del ataque de los agentes externos.

Así, tenemos, que en el grado de exposición pueden influir varios factores. Desde la proximidad de otras edificaciones debido al ancho de las calles o bien a la altura de la zona afectada. En este sentido las zonas de las fábricas de tapial situadas al ras del suelo suelen estar sometidas a agresiones de tipo mecánico, originadas por factores humanos, salpicaduras del agua de la calzada, etc. Otros factores son la ubicación de la fábrica de tapial en la edificación: en el centro de la fachada, en las esquinas, protegido por otros elementos de tipo arquitectónico, etc.

La solución constructiva para reparar este tipo de lesiones pasa necesariamente por eliminar la capa de tapial en contacto con el exterior hasta llegar a encontrar parte de la masa de árido, la limpieza de este manteniendo rugosa la superficie para facilitar la adherencia del material de reparación y reparar con un hormigón de similares características al existente.

La recuperación de la masa interesa aplicarla en varias capas, a modo de revoco, de manera que en las primeras predomine el árido grueso y en las finales el fino. Hay que tener presente que el proceso constructivo de la reparación no puede ser similar al de la ejecución del tapial, salvo que la pérdida de masa sea tal que permita la compactación por tongadas. Aunque en este caso más que de pérdida de masa, estaríamos hablando de recrecido o recuperación del muro.

También hay que tener presente el contenido de cal del tapial a reparar, ya que una riqueza excesiva de cal en el mortero de reparación puede ser contraproducente al ser más fuerte el revestimiento que la base. En algunos casos, bien por deficiencias del material o por tratarse de grandes pérdidas de masa, suele optarse también por el empleo de armaduras de fibra para el anclaje.

3.- Erosiones

A diferencia de la pérdida de masa o desprendimiento de material, la erosión se considera una lesión que está originada por agentes externos, consistente en el arrastre o la destrucción de los materiales del muro, provocando la desaparición progresiva de los mismos.

En este caso, por tanto, se trata de un proceso de alteración natural debido a los agentes atmosféricos, de manera que la alteración se produce de manera lenta. No obstante o anterior, en los últimos tiempos se ha comprobado como ciertos muros, expuestos al exterior, han sufrido alteraciones de manera más rápida de lo habitual. Esta aceleración es debida al aumento de agresividad de las atmósferas urbanas e industriales, cada vez más contaminadas.

Generalmente, para analizar esta lesión, es necesario tener en cuenta dos tipos de factores:

- Los intrínsecos del material; es decir las características físicas y químicas del mismo. En este sentido es corriente encontrar marcas de erosiones en franjas horizontales cuando el espesor de las tongadas es excesivo (superior a 10 cm) y provocando poca compactación en las capa inferiores (Maldonado, 1997) (fotos 4 y 5).



(Foto 4)



(Foto 5)

- Los ambientales. Por lo general agentes naturales como: el agua, sol, viento y organismos vivos, y la contaminación de la atmósfera de la zona donde se ubica el muro.

Además de lo anterior, también es corriente considerar como lesión por erosión en los muros, la desaparición del material a causa de: la fuerza de la gravedad, la originada por el desgaste del agua o el viento y la erosión biológica, originada por organismos vivos. En nuestro análisis, trataremos este tipo de erosión por separado.

Es de destacar que cuando se observe este tipo de lesiones en los muros habrá que determinar si la causa es simplemente física; es decir, si se han producido cambios en la forma pero no alteraciones en la composición química de los elementos. O si en cambio se han producido reacciones en la composición mineralógica de los materiales.

En el caso de las erosiones que producen alteraciones físicas tenemos: el agua, el viento y el sol. La diferencia entre una lesión ligada a la humedad (analizada en el punto 1) de una lesión por erosión causada por el agua, es que en esta última deben observarse los efectos mecánicos del agua de lluvia sobre el paramento, desprendiendo y arrastrando las partículas de material (foto 6).

También se considera erosión si se trata de un efecto disolvente, como ocurre cuando las sales solubles originan tensiones internas en el material, pudiendo llegar a la destrucción del mismo (alteración física y química).

En el caso del viento, su acción es puramente mecánica. El viento puede transportar partículas que lanza contra el paramento, desgastando la superficie, o arrastrar las partículas ya disgregadas por una acción anterior.



(Foto 6)

Y en cuanto al sol, el calentamiento de los muros produce cambios térmicos y, como veremos más adelante, estos cambios se traducen en alteraciones de volumen que originan tensiones internas y las consiguientes fisuras, que facilitan una posterior erosión. También conviene señalar que el sol, al elevar la temperatura en el paramento, modifica la humedad de los poros de la masa contribuyendo a acelerar ciertas reacciones químicas.

En cuanto a las erosiones por alteraciones químicas, la más común que se da en la zona de la ciudad donde se ubica la muralla, es la producida por el dióxido de carbono (CO_2) procedente del tráfico rodado. Como es sabido el dióxido de carbono convierte en ácida el agua de lluvia, lo que incrementa la velocidad de disolución de cierto tipo de rocas (calizas, calcáreas, etc.). Si el tapial contiene este tipo de material como árido y se encuentra en el exterior del paramento, podremos comprobar que se han convertido en piedras sumamente porosas y en malas condiciones para seguir resistiendo la agresividad exterior. Otras veces la evaporación del agua, en el exterior, da lugar a concreciones al depositarse el carbonato de calcio. Estas acciones están limitadas a los muros que están contruidos con materiales que contienen carbonato cálcico y carbonato magnésico.

4.- Grietas y fisuras

Nos referimos a grietas y fisuras cuando se trata de aberturas de tipo longitudinal en el paramento, que ponen de manifiesto un comportamiento inadecuado del elemento constructivo. Se habla de fisuras cuando el ancho de su abertura es inferior al milímetro y de grietas cuando supera esta dimensión.

Tanto las fisuras (foto 7) como las grietas tienen su origen en patología relacionada con el funcionamiento estructural de la fábrica. Las fisuras pueden incluso subdividirse, en función de su movilidad, en: fisuras “muertas”, que son aquellas que no suelen afectar a la integridad del elemento constructivo, y fisuras “vivas”, cuando van aumentando o disminuyendo su anchura por efectos de las acciones a que está sometido el muro (térmicas, por asiento, por acciones gravitatorias, etc.). Mientras que las grietas son causa de patología que afecta estructuralmente al muro, al fallar la respuesta del mismo a las exigencias de resistencia o



(Foto 7)

elasticidad a que se encuentra sometido, llegando a dañar elementos constructivos e incluso provocando pérdidas de su integridad.

Sin embargo, a pesar de la simplicidad de la definición de fisuras y grietas, su análisis patológico puede resultar complejo, ya que la falta de respuesta de un muro a las acciones a las que está sometido, no siempre tiene un claro origen. En este sentido, para analizar las fisuras y las grietas que aparecen en una fábrica de tapial conviene tener presente que estas pueden tener su origen en:

- a) Acciones durante el proceso constructivo
- b) Acciones gravitatorias
- c) Acciones horizontales
- d) Acciones térmicas

a) Acciones durante el proceso constructivo

Durante el proceso de ejecución del tapial, este puede verse sometido a acciones externas no previstas, como golpes en el desencofrado de los cajones, apareciendo fisuras que, inicialmente son ocultadas por el revestimiento de cal pero que persisten en la masa interior, “dando la cara” con la pérdida del revestimiento. También durante el proceso una mala ejecución, por la desecación acelerada del agua de la masa o juntas defectuosas, puede quedar como fisuras en el paramento.

b) Acciones gravitatorias

En general todas las cargas verticales suelen ser consideradas en el cálculo del muro. Sin embargo alguna sobrecarga imprevista o la propia incapacidad del muro de tapial para asumir los esfuerzos previstos en el proyecto, someterá a los materiales a tensiones que provoquen distintos esfuerzos.

Sin pretender entraren un análisis exhaustivo de este tipo de fisuras, vamos a indicar unos criterios generales de conformación de las fisuras por cargas gravitatorias en función de las tensiones que las originan:

- Las tensiones de tracción suelen provocar fisuras perpendiculares al esfuerzo
- Las tensiones de compresión provocan fisuras paralelas al esfuerzo, que puede llegar a ser curvas si existe un momento flector
- Las tensiones de flexión originan fisuras perpendiculares e inclinadas, según la proximidad de la carga al apoyo. Suelen disminuir al acercarse a la fibra neutra.
- Las de cortante aparecen en número importante cerca de los apoyos y, generalmente, según diagonales.
- También pueden aparecer en los muros fisuras originadas por pandeo, que puede decirse que es un caso particular de flexión. Estas fisuras pueden confundirse con las de tracción, al ser horizontales, pero se dan en mayor número y cerca de los huecos.

Una acción que puede provocar fisuras y que podemos incluir dentro de las acciones verticales, aunque tiene su propia identidad es el “asiento diferencial”. En este caso no se trata de incapacidad del muro, sino del descenso del nivel de la capa del terreno en que este asienta, como consecuencia de la diferente compresión de los materiales que lo componen. La estabilidad del terreno pierde su resistencia al corte y, en función de la naturaleza de las partículas de los materiales que lo componen, puede variar la cohesión de las mismas y verse modificado su rozamiento (foto 8).

(Foto 8)



Cuando se analice una fisura que se sospeche que su origen es el asiento diferencial, debe tenerse presente que la fisura es más ancha en la parte superior del muro, ya que está originada por un desplazamiento del nivel de los cimientos a través de un mecanismo que distorsiona, con esfuerzos de tracción, la cabecera de los muros. Además, siguiendo el punto (o en su caso la línea) de descenso de la cimentación, la fisura se desarrolla en forma de parábola, al haber perdido su apoyo los elementos flexionados, con lo que se produce una pérdida del monolitismo de la masa material que conforma el muro. Por esta razón, estas fisuras se hacen más patentes en las zonas donde existen vanos. Cuando el giro es importante, se produce un desplazamiento de la resultante de las masas y se redistribuyen las cargas verticales, pudiendo incluso causar el aplastamiento de las zonas más solicitadas.

c) Acciones horizontales

Estas acciones son debidas principalmente a los efectos del viento, el sismo y, ocasionalmente, impactos.

En las estructuras entramadas se encomienda a los muros de fachada la absorción de los empujes originados por el viento de manera que puedan trasladarlos a la estructura que se encargará de llevarlos hasta la cimentación. Sin embargo, en el caso de las construcciones de tapial, son estos elementos los que deben hacer frente a este tipo de esfuerzos.

Lógicamente la presión, debida al viento, que debe soportar un muro de tapial es función de la altura del mismo, del grado de exposición según su situación geográfica y de la configuración de su superficie.

El caso del sismo, es un factor a tener presente en algunas zonas de España, ya que las construcciones de tapial no tienen un carácter monolítico.

Y en lo referente a “choques” considerados como otro tipo de esfuerzo horizontal, es claro que gran parte de los deterioros de los muros, relacionados con desconchones y desprendimientos de materia en zonas bajas, son debidos a choques violentos.

d) Acciones térmicas

En este caso se trata de movimientos propios del muro de tapial originados por las dilataciones y contracciones, bien a causa de la temperatura, por el humedecimiento, la retracción, etc.

Las construcciones de tapial no suelen ir provistas de juntas de dilatación o retracción y, por lo general, su masa suele absorber las tensiones interiores de compresión y tracción. Sin embargo, en los casos de “hormigones” de gran compacidad, demasiada finura de la tierra o vínculos que impidan el libre movimiento, podemos encontrarnos con ciertas tensiones que comenzarán produciendo figuraciones en el muro, facilitando las infiltraciones de agua y, en definitiva, deterioros mayores.

Para hacernos una idea de la situación en que nos encontramos en estos casos con los muros de tapial, podemos indicar la dilatación térmica ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) de algunos materiales:

- áridos de grava 11,7
- áridos de caliza 6,0
- ladrillo-arcilla entre 4,0 y 8,0
- piedra caliza entre 3,0 a 4,0
- piedra arenisca entre 5,0 a 12,0

Aunque tal vez más interesante sea el estudio de los efectos de las retracciones en los muros de tapial. Ya que la pérdida de agua de su masa, puede originar variación en las tensiones superficiales de los componentes. También el agua puede originar reacciones químicas en la masa de tapial, que modifique la estructura cristalina de la materia, siendo el origen de variaciones dimensionales, en muchos casos reversibles. Así, por ejemplo, los tapiales que abusan de materiales cerámicos en su masa, pueden sufrir un aumento de volumen diferido. La pérdida de impermeabilización de las superficies de los muros de tapial, puede acelerar estos efectos patológicos.

Podemos realizar una aproximación al comportamiento del tapial frente a las acciones higrotérmicas, aunque manejando conceptos muy generales.

En primer lugar, durante la fase de vida útil de un muro de tapial, las variaciones de la humedad se deben: al agua como componente básico en su construcción, al agua libre o capilar y al agua de absorción. Y las fisuras por retracción se originan por la pérdida de agua de su masa. De ahí que cuando un muro de tapial permanece en ambiente húmedo, puede sufrir ligeros hinchamientos o incluso valores sensiblemente importantes cuando su masa es muy porosa. Mientras que si el ambiente es muy seco, puede perder toda el agua capilar y absorbida.

5.- Eflorescencias

Las eflorescencias en un muro de fábrica se producen en la superficie del mismo, causadas por las sales que llegan en forma de disolución y se re-cristalizan, originando manchas, generalmente de tonalidades blancas.

Los síntomas patológicos son más propios en los muros construidos con materiales porosos como ladrillo, piedra, hormigón, morteros, etc. Además, para que aparezcan las eflorescencias es necesaria la presencia de sales en disolución. Aunque estas sales no necesariamente deben proceder de los mismos materiales, ya que pueden provenir de otros en contacto con ellos, del terreno, o bien haber sido producidas por reacciones químicas. Posteriormente son transportadas por el agua a través de los intersticios hasta que se produce la re-cristalización, lo que puede suceder en la superficie o en el interior de la masa, dependiendo de la naturaleza de las sales, de la porosidad de los materiales y de las condiciones de evaporación.

El resultado es la aparición de manchas que afean el aspecto exterior de los muros (foto 9), pudiendo incluso llegar a deteriorarlos si se produce el fenómeno en su interior. Es lo que se conoce con el nombre de “criptoflorescencias”.



(Foto 9)

Las eflorescencias (externas) son las más comunes y aparecen en la superficie del cerramiento donde re-cristalizan las sales, mientras que las segundas se originan en el interior de la masa del muro, aunque próximas a la superficie, teniendo como consecuencia el desprendimiento de las capas superficiales, debido al aumento de volumen de las sales al cristalizar.

En el caso de los muros de tapial no suele ser extraño encontrarse con este tipo de eflorescencias, ya que aunque si bien dependen del tipo de sal que se precipita sin contacto con el exterior, se suelen producir en oquedades internas del muro, cerca de la superficie, lo que facilita la evaporación del agua y la cristalización de la sal. Estas oquedades pueden ser debidas a defectos de ejecución del tapial, por inadecuados procesos de compactación de las tongadas.

Como hemos indicado, los agentes que producen esta lesión son, básicamente, el agua y las sales o, más exactamente, su disolución y el posterior arrastre de éstas hacia el exterior.

Al analizar la lesión de humedades, ya hemos hecho referencia a que la procedencia del agua puede ser muy variada, pudiendo distinguirse entre:

- *Agua de construcción*, o agua utilizada en el proceso de realización del tapial, que puede salir al exterior a medida que se seca el muro. En ocasiones este tipo de eflorescencias es inevitable y, naturalmente aparecen a las semanas de la construcción del muro, pero va desapareciendo con el tiempo o e sistema de revestimiento y no vuelve a aparecer.
- *Agua de lluvia*, infiltrada desde el exterior, como ya hemos indicado bien por absorción, debido a la porosidad de los materiales, bien por grietas y fisuras, siguiendo un recorrido de ida y vuelta según los períodos húmedos y secos. Este tipo de eflorescencias es difícil de solucionar al ser de carácter periódico.
- *Vapor de agua*. Ya hemos hecho referencia al tema del vapor de agua, por lo que solo se producen en casos de hémelo del tapial como muros de cerramiento de locales con dificultades de aislamiento térmico.
- *Agua accidental*. Llamamos así a la procedente de las roturas de canalizaciones. De producirse la eflorescencia suele detectarse el origen de la lesión con facilidad.

En cuanto a las sales, las más comunes en los problemas de eflorescencias son los sulfatos de calcio, de magnesio, de sodio y de potasio, aunque existen otras sales que actúan de forma más ocasional, dependiendo de su procedencia.

En el caso de los tapiales que emplean materiales cerámicos como áridos, podemos encontrarnos con sulfatos procedentes del ataque de los óxidos de azufre y del oxígeno. Según el tipo de árido que se emplee en la masa, pueden aparecer cloruros, sulfatos o carbonatos. Por ejemplo, en las piedras de tipo sedimentario pueden estar presentes ya las sales, pero generalmente proceden de la descomposición de las mismas y la lesión deriva hacia la erosión.

También es frecuente que las sales procedan del *terreno*, generalmente de sustancias orgánicas como los nitratos de sodio y potasio y, lógicamente de la atmósfera, como sucede cuando nos encontramos cerca de un ambiente marino donde la humedad puede transportar los cloruros, o en las ciudades con excesiva polución ambiental.

6.- Suciedades

La suciedad de los muros de fachada de una edificación, es la consecuencia de la acumulación de partículas de polvo de la atmósfera, o de otros elementos en suspensión en el aire que está en contacto, sobre la superficie de la misma.

Lógicamente esta acumulación de partículas se verá favorecida por la mayor cantidad de partículas en suspensión en la atmósfera y cuanto mayor sea la porosidad de la fachada. En consecuencia nos encontramos con una lesión que claramente puede afectar a los muros de tapial y, especialmente a los que son objeto de nuestro análisis, dada su ubicación y exposición.

Sin embargo, no son sólo estos los únicos factores que intervienen, por lo que vamos a profundizar algo más en el análisis de esta lesión.

A) Proceso de desarrollo

El proceso de ensuciamiento de un muro se produce cuando se van depositando sobre las superficies de sus paramentos las partículas en suspensión en el aire. Estas pueden ser de polvo atmosférico o de tipo mineral, generalmente provenientes de los óxidos de la combustión de diferentes productos. Una vez que se han depositado en la superficie de las fachadas, son retenidas sobre ellas gracias a la tensión superficial que se crea, o simplemente como consecuencia de la rugosidad del paramento, que establece plataformas horizontales microscópicas donde se pueden alojar las partículas. Esa tensión superficial crece con la humedad por lo que, cuanto mayor sea ésta, mayor será la acumulación de partículas. Pero si la humedad es intensa, como en el caso de que aparezca la lluvia, el

agua, por efecto de capilaridad, tiende a introducirse en los poros superficiales de la fachada, arrastrando consigo las partículas que se habían alojado en la superficie exterior, y lo hará tanto más cuanto mayor sea el efecto de capilaridad y mayor sea la presión de agua desde el exterior.

Cuando el agua se evapora, las partículas permanecen dentro de los poros, produciendo la suciedad aparente, que llega a hacerse visible cuando los poros se colmatan.

Ahora bien, cuando la fuerza de arrastre del agua por la superficie es importante, bien porque la intensidad de lluvia es mayor, bien porque la inclinación de la superficie de la fachada así lo facilita, se anula el efecto de capilaridad y las partículas son arrastradas por el agua que escurre hacia abajo, evitando el ensuciamiento y produciendo, incluso, el lavado de partes de la superficie por eliminación de partículas depositadas.

Una vez que se llega de nuevo al reposo, al disminuir la escorrentía del agua, la acumulación de partículas arrastradas y la permanencia del agua facilitan de nuevo el efecto de capilaridad con arrastre de gran cantidad de partículas al interior de los poros y, por lo tanto, un efecto de ensuciamiento localizado, formándose los conocidos “chorretones” (foto 10).



(Foto 10)

Como veremos, este cambio de velocidad del agua de arrastre no se produce sólo por efecto de variación de la intensidad de la lluvia, sino también por los cambios de inclinación de la superficie, obstáculos de fachada, etc.

B) Causas

Vamos a referirnos básicamente a las partículas contaminantes de la atmósfera como causas que originan la lesión, ya que las partículas de tipo orgánico que también pueden ser consideradas como un tipo de suciedad en las fachadas, nosotros las analizamos en el apartado de “patologías de origen biológico”. En el caso de una ciudad como Sevilla, las partículas contaminantes pueden proceder básicamente: del polvo atmosférico y del tráfico rodado. No es usual encontrar partículas procedentes de las calefacciones y tampoco, por la zona donde se encuentra ubicada la muralla, vamos a considerar las partículas contaminantes que puedan proceder de la industria.

a) Polvo de la atmósfera

Se trata de elementos sólidos, de forma, estructura y densidad variables, que se hayan dispersos en el aire con tamaños de partículas comprendidos entre 0,1 y 1000 μm^5 . Suelen comprender, tanto constituyentes inorgánicos (arena, hollín, cenizas y otros) como orgánicos (semillas, polen, etc.).

b) Polvo procedente del tráfico rodado

Como consecuencia de la combustión de los motores de los vehículos (foto 11) se producen los siguientes compuestos, que pueden pasar a formar parte del polvo atmosférico y que varían según el tipo de carburante:

- Monóxido de Carbono (CO).
- Compuestos diversos del plomo.
- Hidrocarburos.

c) Polvo de la combustión de las calefacciones

Es de destacar que, en lagunas ciudades, los derivados de la combustión de calderas para calefacciones pueden llegar a constituir el 50% de los contaminantes atmosféricos en una zona urbana. Los más importantes son:

- Oxido de Carbono (CO).
- Compuestos Sulfurados.
- Compuestos Nitrogenados.
- Hidrocarburos.
- Hollines.
- Cenizas.



(Foto 11)

C) Agentes

Ya hemos hecho referencia a los agentes que intervienen en el proceso, básicamente el agua y el viento. Pero también influyen la composición del tapial y la rugosidad y la geometría del paramento. De ahí la importancia que tienen las reparaciones de los paramentos de tapial cuando este va perdiendo su revestimiento de protección.

Pero queremos hacer incidencia en la geometría del paramento, ya que la suciedad debida a la contaminación atmosférica no se puede evitar pero si podemos tratar de que el ensuciamiento del paramento sea lo más uniforme posible para que el aspecto no se vea alterado sustancialmente.

En primer lugar, en los paramentos horizontales o con una ligera inclinación, será más fácil el depósito de las partículas y más difícil el lavado producido por la lluvia.

En los paramentos verticales, el depósito de las partículas dependerá de su rugosidad, mientras que el producido por tensión superficial permanecerá constante. Por otro lado, sin embargo, el efecto del lavado del agua de lluvia es prácticamente inverso. En un plano inclinado hacia arriba las gotas inciden más perpendicularmente y, por tanto, el efecto de lavado por lluvia es mayor, mientras que en el inclinado hacia abajo, el agua de lluvia sólo llega por escorrentía del plano vertical superior y, por tanto, muy despacio, produciendo un lavado casi nulo.

En definitiva, en un plano inclinado hacia arriba el depósito de suciedad será mayor, por lo que en zonas de alta humedad relativa se podrá producir ensuciamiento con más facilidad y éste será uniforme. Sin embargo la lluvia producirá un lavado más enérgico arrastrando las partículas hacia el plano siguiente, que normalmente será vertical.

Un plano inclinado hacia abajo apenas recibirá depósito de partículas, pero tampoco sufrirá lavado por la lluvia, mientras que sí le llegará por escorrentía el agua cargada de partículas del plano superior. Como quiera que la velocidad del agua disminuye por efecto de la tensión superficial, las partículas encontrarán mayor facilidad para su entrada por arrastre en los poros del material y el ensuciamiento final será mayor. Pero el problema más grave no es sólo el ensuciamiento, sino su poca uniformidad, debido a que el agua tiende a caer en "chorretones" y la suciedad penetra con la misma forma, apareciendo finalmente dibujadas las líneas de suciedad que afean el paramento.

En cuanto al plano vertical, la acumulación de partículas es intermedia y el efecto de lavado suele ser bueno ya que la lluvia normalmente cae con cierta inclinación (suele aceptarse alrededor del 10 %). Además tenemos el efecto del viento que, cuanto más expuesta sea la fachada, más horizontalidad la da a la incidencia del agua y, por tanto, el efecto de lavado es más eficaz.

D) Prevención, corrección de las lesiones y mantenimiento

Ya hemos mencionado que la suciedad es, en principio, inevitable. Pero que debemos procurar que sea lo más uniforme posible para que afecte por igual a todo el paramento de fachada y evitar el aspecto de conjunto desagradable.

Y en lo que se refiere al mantenimiento ya hemos indicado de la necesidad de mantener apropiadamente protegidos los paramentos del tapial, especialmente si se encuentran en zonas urbanas. Una solución práctica puede ser acabar el tratamiento de protección con un inhibidor del polvo y suciedad. Se debe de tratar de hidrofugar, no de impermeabilizar o crear barrera de poros cerrados, ya que estos impedirán la respiración del muro.

Desde nuestro punto de vista es desaconsejable utilizar para los muros de tapial productos como resinas, ésteres de silicota, poliéster, clorocaucho, etc. Y utilizar productos ligados al carbonato cálcico, procurando, sobre todo mantener en la superficie los valores del pH de los materiales (generalmente entre 7 y 9).

7.- Biológicas

En este apartado no referimos básicamente a la suciedad de los paramentos del muro de tapial originada por partículas contaminantes de tipo orgánico. Se trata en realidad de la aparición de mohos y de hongos en las superficies de los paramentos de los muros, en condiciones de humedad continuada y con poco soleamiento, que conviene analizar aunque sea de manera breve, al afectar a zonas de la muralla de nuestro análisis.



(Foto 12)

Los mohos son organismos vivos microscópicos de origen vegetal que se agrupan en: mucus o líquenes y ascomicetes. Se adhieren a las superficies porosas y rugosas especialmente cuando ofrecen un grado de humedad apto para su crecimiento. Por ello, la orientación y exposición son factores clave.

Puede presentar tonalidades variables en colores blanco, rosado, verdoso y pardo (foto 12) y cuando se originan en locales cerrados, además, presentan abundante producción de gases perceptible por el olfato.

Además de la rugosidad y los resaltes al exterior, favorece el establecimiento de este tipo de colonias la existencia de tierra acumulada en ciertas zonas del muro. Por otra parte, también el polvo atmosférico contienen suficientes microorganismos como para permitir la aparición de hongos en cuanto la humedad sea la adecuada.

Su efecto puede ser considerado como lesión de ensuciamiento ya que se originan manchas de color (verdoso o pardo) (foto 12) localizadas en las fachadas orientadas al norte o en rincones umbríos. De ahí que su prevención pase por el estudio de la orientación y el estudio del material para las fachadas que no puedan tener un adecuado soleamiento.

Su desaparición pasa por la necesidad de una limpieza profunda del paramento y la aplicación de productos fungicidas. Aunque estos tienen una duración limitada, por lo que deben aplicarse a partir de un programa de mantenimiento.

También son de origen biológico las lesiones provocadas por organismos vegetales o animales. La vegetación aprovecha zonas en las que la humedad es mayor, bien sea por que se ofrece una superficie



donde se acumula agua o por que el paramento, debido a su orientación o situación, se mantiene especialmente húmedo. Las grietas o fisuras, sobre todo en las zonas mencionadas suelen ser lugares apropiados para la aparición de plantas, agravando la situación, ya que la acción penetrante de las raíces beneficia la filtración de más agua, y la disolución de la masa interna del muro (foto 13). Para eliminarlos se pueden aplicar herbicidas totales para secar todo tipo de vegetación, teniendo en cuenta que son compuestos químicos muy contaminantes. Posteriormente limpiar la superficie y protegerla ante la acumulación incontrolada de agua.

La actividad de diversas especies animales como aves o roedores pueden perjudicar a largo plazo lesiones ya existentes como oquedades producidas por pérdidas de masa o propias de paramento.

Agradecimientos

Este trabajo se engloba dentro de las actividades marcadas por el Proyecto de Investigación denominado como BIA2004-01092, inscrito en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica del Ministerio de Educación y Ciencia de España.

CITAS Y NOTAS

¹ En cuanto a los espesores, el muro tiene entorno a 1,70m y la barbacana 0,55m. En lo concerniente a las técnicas, las agujas no pueden ser pasantes y se usan medias agujas y los codales se sustituyeron seguramente por tirantes (López, 1999).

² Buen ejemplo de ello lo tenemos, además de en la cerca Sevillana, en la muralla de Niebla (1130), Almería, Córdoba, Écija y Jerez.

³ La fortaleza de Baños de la Encina, fue mandada construir por Al-Hakam II, hijo de Abd-al-Rahmán III, en el año 968 y se trata de una excelente fábrica de tapial de argamasa con 15 torres claramente huecas.

⁴ Este dato ya fue confirmado en la restauración realizada entre 1984 y 1998. Conviene dejar constancia que la última restauración de esta zona de la muralla fue llevada a cabo por la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, estando a cargo de la Dirección de las Obras el Arquitecto D. José García-Tapial y León y el Arquitecto Técnico D. José María Cabeza Méndez. Las obras se iniciaron, por la zona de la Macarena y la Puerta de Córdoba, en diciembre de 1984, dándose por concluidas en junio de 1986. La restauración de la zona del Jardín del Valle, se hizo en una segunda fase, que se dilató hasta marzo de 1988.

⁵ Cuando las partículas sólidas o líquidas, tienen tamaños entre 0,0001 y 0,1 um. reciben el nombre de *aerosoles* (calima, niebla, humo de tabaco, etc.).

Bibliografía

*AZUAR RUIZ, Rafael.: "Las técnicas constructivas en Al-Andalus. El origen de la sillería y del hormigón de tapial". (Actas V semana de estudios medievales, Nájera, agosto 1994, págs. 125-142).

*CABEZA MÉNDEZ, J.M.: "Las murallas de la Macarena" (En Revista Aparejadores, nº 10, marzo 1983) Sevilla

*CABEZA MÉNDEZ, J.M. y García-Tapial y León, J.: "Restauración de las murallas de la Macarena" (En Revista Aparejadores, nº 20, Sevilla, diciembre 1986. pgs. 23-27)

*CABEZA MÉNDEZ, J.M. y García-Tapial y León, J.: "Restauración de las murallas del Jardín del Valle" (En Revista Aparejadores, nº 26, Sevilla; junio 1988. págs. 26-31)

*CHUECA GOTILLA, F. "Historia de la Arquitectura Española. Edad Antigua y edad Media.

*COLLANTES DE TERÁN, F. La Sevilla que vio Guzmán el Bueno (1977).

*LÓPEZ MARTÍNEZ, Fco. Javier.: "Tapias y tapiales". Revista Loggia, nº8, 1999, págs. 74-89.

*MALDONADO RAMOS, Luis, CASTILLA, F. J. y VELA, F. "La técnica del tapial en la Comunidad Autónoma de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muro de tapia". En: Informes de la Construcción. Instituto Eduardo Torroja. nº 49, 1997, págs. 27-39.

*TORRES BALBÁS, L.: "Ciudades hispano-musulmanas". Instituto Hispano-Arabe de Cultura, Madrid 1985.

*VALOR PIECHOTTA, M. "Las defensas urbanas y palatinas". En "Las edades de Sevilla"