

Lección 11.- PATOLOGIAS DEL MURO DE LADRILLO. DEFECTOS DE PIEZAS Y OBRAS CERÁMICAS.

0.- Introducción.

La durabilidad de los productos cerámicos es una de sus características más interesantes y apreciadas, ya que existen pocos materiales como los ladrillos que puedan resistir el paso del tiempo de una forma tan favorable y sin cuidados de mantenimiento.

Si bien son abundantes los ejemplos de edificaciones con cientos de años que conservan sus características estéticas y mecánicas como el primer día, también existen algunos ejemplos de fachadas construidas recientemente y que en pocos años han sufrido una importante degradación, debido fundamentalmente a la acción de los agentes atmosféricos y en particular a las heladas.

En muchas ocasiones las obras de productos cerámicos presentan defectos que puede ser internos debidos a los materiales empleados (cerámica o mortero), o externos por alteración de agentes procedentes del exterior (terreno, atmósfera...). Los defectos más corrientes son producidos por las siguientes causas:

- 1.- Ataque de sulfatos.
- 2.- Uso de materiales inestables. Caliches
- 3.- Acción del hielo. Heladicidad
- 4.- Corrosión de materiales metálicos.
- 5.- Cambios dimensionales. Expansión por humedad.
- 6.- Eflorescencias.
- 7.- Impermeabilidad frente al agua de lluvia.

1.- Ataque de sulfatos.

La presencia de sulfatos puede deberse a la misma cerámica (de la arcilla o de los gases de combustión durante el proceso de cocción), proceder del terreno (aguas sulfatadas) o de la atmósfera (humos industriales o calefacciones).

Los sulfatos representan uno de los mayores riesgos de agresión química para el mortero y hormigón. Las reacciones químicas que incluyen la formación de productos expansivos en el hormigón o mortero ya endurecido pueden dar lugar a efectos perjudiciales, ya que la expansión puede producir tensiones mecánicas internas que, eventualmente, se traducen en deformaciones y desplazamientos en diferentes partes de la estructura, en la aparición de grietas y fisuras, desconchados, etc.

Proceso de ataque por los sulfatos.

La degradación de los hormigones o morteros por la acción de los sulfatos se debe, principalmente, a los fenómenos de expansión relacionados con la cristalización de etringita denominada “secundaria”, para diferenciarla de la “primaria”, que se obtiene en las primeras etapas de hidratación del cemento Portland por reacción del yeso y del aluminato. Esta etringita “primaria” nunca da lugar a fenómenos de expansión.

La formación de la etringita “secundaria” se realiza en dos etapas:

(i).- Formación de yeso “secundario”, como resultado de una reacción de sustitución entre la portlandita, Ca(OH)_2 , y el sulfato. En el caso del sulfato de sodio se tiene:

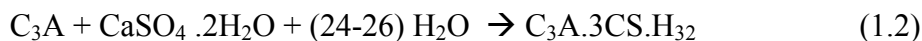


Si el contenido en sulfato es elevado, superior a 1000 mg/l, y si la concentración local de iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} en la fase líquida intersticial del hormigón excede el producto de solubilidad del yeso, este último precipitará.

El volumen del sólido precipitado representa un poco más del doble del de los productos de partida, con lo que puede presentarse un fenómeno de expansión. Sin embargo, en la mayoría de los casos dicha reacción está limitada en la medida que el yeso se forma según un proceso de disolución y cristalización en los espacios libres de la pasta endurecida.

(ii).- Reacciones entre el yeso “secundario” y los aluminatos de calcio del cemento formando etringita. Se pueden presentar varios escenarios:

- A partir de restos de aluminato tricálcico, C₃A, anhidro:



- A partir de aluminato tetracalcico hidratado, C₄AH₁₃,



- A partir del monosulfoaluminato de calcio (MSA), C₃A.CS.H₁₂, que es el producto de hidratación cuando el contenido de es superior al 5 %.



Según sea la composición de la fase líquida, en particular del contenido de calcio, la cristalización de la etringita puede ser expansiva o no.

Si el contenido de calcio es alto según se desprende de los datos de la tabla 1.1, la solubilidad de la etringita es muy pequeña formándose una disolución fuertemente sobresaturada, con lo que la velocidad de nucleación de la etringita es muy superior a la de crecimiento de sus cristales, produciéndose una formación en masa de cristales muy pequeños de naturaleza más o menos coloidal de baja densidad (Figura 1.1.a). La nueva masa sólida formada, cuyo volumen molar es de 3 a 8 veces mayor que el de la masa inicial, desarrolla tensiones muy elevadas debidas a las presiones de cristalización que acompañan su formación.

Tabla 1.1.- Solubilidad de la etringita, a 25 °C, en función del contenido en CaO de la solución.

0.1000	0.6700	0.1000	0.6700
0.1000	0.6700	0.1000	0.6700

Por el contrario, en los cementos que liberan menos portlandita la etringita precipita a partir de disoluciones con un grado de saturación menor, formando cristales de forma acicular bien formados con una densidad mayor y, por tanto, el aumento de volumen que se produce es menor que en el caso anterior y se acomoda a los vacíos intersticiales existentes en el hormigón, no dando lugar a fenómenos de expansión.

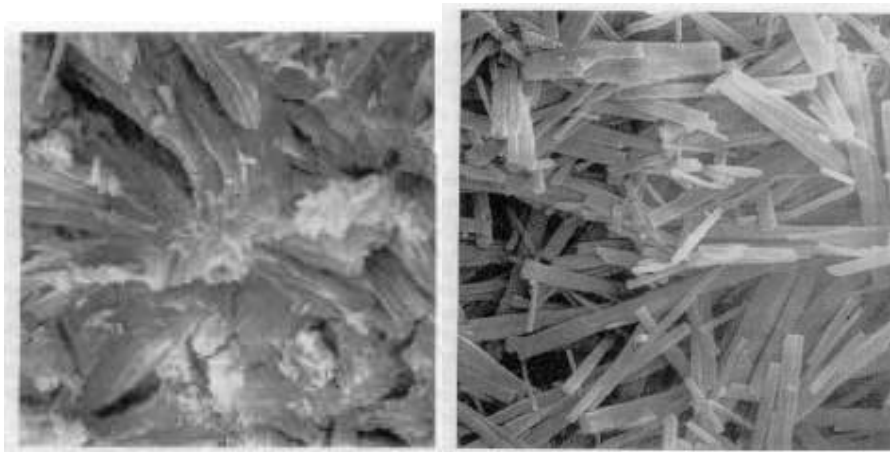
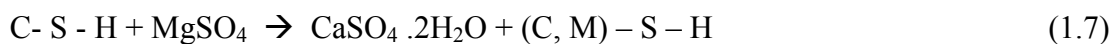
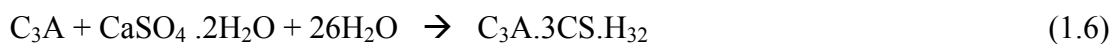
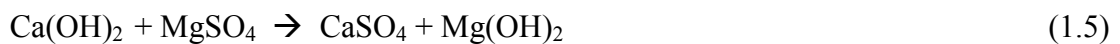


Figura 1.1.- Micrografías de la etringita.

- (a).- Etringita masiva expansiva mal cristalizada formada topoquimicamente.
 (b).-Cristales bien formados de etringita no expansiva precipitados a partir de la solución.

Los sulfatos más agresivos frente al hormigón son los sulfatos de magnesio, de amonio, de calcio y de sodio. El sulfato de magnesio es fuertemente agresivo debido a la doble acción del catión Mg^{2+} que se cambia con el Ca^{2+} y del anión SO_4^{2-} , según las reacciones :



Los cambios del Mg^{2+} con el Ca^{2+} conducen a la formación de brucita $Mg(OH)_2$, que puede ralentizar temporalmente la penetración de los sulfatos. También provocan la transformación progresiva de C- S – H en un silicato de magnesio hidratado M - S – H sin propiedades ligantes. Además, la cristalización de etringita, inestable en presencia de sulfato de magnesio, intensifica la reacción de formación del yeso.

El sulfato de calcio, presente en los suelos en forma de yeso y anhidrita y en las aguas subterráneas selenitosas, es agresivo para el hormigón a pesar de su pequeña solubilidad (Tabla 1.2). El proceso de degradación, más lento que en el caso del sulfato de magnesio y de amonio, se debe esencialmente a la formación de etringita expansiva.

El sulfato de sodio, muy soluble, entraña una degradación por formación de yeso y de etringita expansiva, cuyas proporciones relativas son función de la concentración de iones SO_4^{2-} y del contenido de aluminato tricálcico del cemento. El yeso precipita para concentraciones de 1000 mg de SO_4^{2-} /l. Los C – S – H, menos sensibles que la portlandita, no se ven afectados directamente por el sulfato de sodio, pero si son susceptibles de descomponerse en una segunda fase por lixiviación parcial de su cal y posterior formación de yeso.

Tabla 1.2.- Solubilidad de diferentes sulfatos en el agua (temperatura 20 °C).

Solubilidad (g/l)		Solubilidad (g/l)		Solubilidad (g/l)	
111		K_2SO_4	111	K_2SO_4	
58		Ni_2SO_4	58	Ni_2SO_4	
194		$Ni_2SO_4 \cdot 10H_2O$	194	$Ni_2SO_4 \cdot 10H_2O$	
440		$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	440	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	
280		$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	280	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	
21		$CaSO_4$	21	$CaSO_4$	
12		$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	12	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	

El sulfato de potasio tiene una acción similar a la del sulfato de sodio, pero la velocidad de ataque es un poco más lenta.

Durante la hidratación del cemento Pórtland, uno de sus compuestos el aluminato tricálcico (C_3A) es capaz de reaccionar con los sulfatos externos al cemento formando un sulfoaluminato expansivo, la Ettringita o sal de Candlot.

La formación de la Ettringita produce un gran aumento de volumen (del 227%) (Figura 1.2) creando unas presiones tan fuertes que provocan disgregaciones del mortero y descascarillamientos en la cerámica. En enfoscados de muros se producen grietas y desconchados.

El ataque se acelera en presencia de humedad, por lo que se debe evitar esta, sobre todo la de capilaridad.



Figura 1.2- Aumento del volumen de un prisma de mezcla inmerso en una solución con alto contenido de sulfatos (mezcla confeccionada con cemento normal).

2.- Uso de materiales inestables. Caliches.

La causa principal son los nódulos de cal viva sin apagar o caliches, existentes en el mortero o la pieza cerámica.

Habitualmente se utiliza el término "caliches" para denominar los granos de óxido cálcico existentes en las piezas cerámicas de arcilla cocida. Los desconchados por caliche se deben a la expansión producida por la hidratación de granos de óxido cálcico para formar hidróxido cálcico. Si la cal está finamente molida, el efecto se reduce.

Los granos de óxido cálcico se forman durante la cocción y proceden de los granos de caliza (carbonato cálcico), contenidos en la materia prima, que no han sido suficientemente triturados durante el proceso de molienda. Para tamaños menores de 0.5 mm, la actividad de los "caliches" es muy baja, siendo muy poco probable su acción rompedora.

La presión ejercida por la expansión de las partículas es proporcional al cuadrado de su radio. De tal forma, una partícula de 4 mm de radio producirá un efecto 16 veces mayor que otra de 1 mm.

La resistencia mecánica de la pieza es un factor primordial para definir la vulnerabilidad de los productos de arcilla cocida a la acción disruptiva de los caliches. Así, un mismo tamaño de grano de caliche puede producir saltados en una pieza cerámica de baja resistencia mecánica y no producirla en otra de mayor resistencia.

La formación de tensiones destructivas por parte de los granos de hidróxido cálcico es más probable si la hidratación se produce por vapor de agua. Cuando la hidratación del óxido cálcico se produce con agua líquida, la masa plástica de hidróxido cálcico formada puede disgregarse parcialmente y fluir por la red capilar del material cerámico sin producir tensiones disruptivas.

El principal problema de este defecto es que su apreciación no es inmediata. En función de la humedad ambiente pueden pasar días, semanas o incluso meses hasta la aparición del mismo. Durante los meses de

verano, en los que el aire puede contener mayor cantidad de vapor y la temperatura es más elevada (lo que favorece la velocidad de la reacción), además de ser menos probable la presencia de agua en fase líquida, el defecto suele aparecer con mayor rapidez que en tiempo frío y lluvioso.

Para minimizar los desconchados por caliches, el fabricante cuenta con medios durante el proceso de fabricación como son molienda más fina, la regulación correcta de la temperatura de cocción y/o la inmersión del material en agua a la salida del horno.

3.- Acción del hielo.

Si los materiales cerámicos o los morteros contienen agua en tiempo frío, existe peligro de heladas con la consiguiente expansión y disgregación del material.

La acción destructiva del hielo se debe al aumento de volumen (un 9 % aproximadamente) que se produce al pasar al estado sólido el agua existente en el interior del material durante las heladas. El hielo formado produce fuertes tensiones que sólo pueden ser adecuadamente soportadas por aquellos materiales cerámicos cuya estructura interna y resistencia sean adecuadas.

En zonas de costa, con influencia directa de la atmósfera salina, pueden depositarse sales (cloruros) sobre fachadas y cubiertas con un efecto destructivo similar al hielo, debido al aumento de volumen por la cristalización de las sales. Por este motivo, los ladrillos que se utilicen en estos lugares deben ser no heladizos aunque no exista riesgo de helada.

Recomendaciones.

En las zonas donde exista riesgo de helada o ambiente marino deben adoptarse las siguientes precauciones:

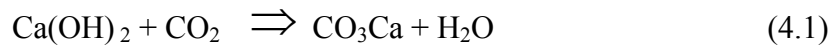
- Utilizar siempre ladrillos que cumplan el ensayo de resistencia a la helada fijado por la normativa.
- El riesgo de daños por helada sólo existe cuando el ladrillo está saturado. Por tanto, a nivel de diseño, se debe procurar que la disposición de los ladrillos no permita que esto ocurra, evitando las zonas embalse así como el aporte excesivo de agua procedente de las cubiertas, terrazas, etc.
- Rematar las coronaciones de los muros con albardillas provistas de goterones.
- Utilizar siempre la lámina antihumedad en el arranque de los muros e impermeabilizar correctamente el intradós en contacto con el terreno (en muros de contención, jardineras, etc.). De lo contrario, se pueden alcanzar niveles importantes de saturación por capilaridad, con el consiguiente riesgo de degradación por heladas.
- Debe interrumpirse la ejecución de la fábrica en tiempo frío al ser la fina capa de mortero muy sensible a la helada, no siendo efectivos para morteros los anticongelantes que habitualmente se utilizan para el hormigón. Caso de producirse la helada con paramentos recién ejecutados, se protegerán los mismos para mitigar el problema.
- Sólo los ladrillos con absorción de agua inferior al 6% pueden emplearse con garantía en zonas con máximo riesgo, como pavimentos, jardineras, etc.

Si bien el límite citado de absorción de agua garantiza un comportamiento adecuado en zonas de máximo riesgo, en términos generales no existe correlación entre resistencia a la helada y la absorción de agua. Un ladrillo con el 10 % de absorción puede ser heladizo y otro con el 20% de absorción resistente a la helada. El valor de la absorción sirve al fabricante para conocer el grado de cocción de sus ladrillos, para un tipo de arcilla y proceso de fabricación. Por tanto, el ensayo de heladicidad, junto con la resistencia a flexión y/o compresión, definirán perfectamente el comportamiento futuro del ladrillo.

4.- Corrosión de materiales metálicos.

Si se produce la corrosión de elementos metálicos empotrados en una obra de fábrica o en cerámicas armadas por filtración de agua, ácidos, sulfatos o cloruros, da lugar a un aumento de volumen que ocasiona la rotura del material.

La reacción del Ca(OH)_2 del mortero con el CO_2 de la atmósfera produce la formación de carbonatos :



lo cual lleva consigo una disminución del pH. Al disminuir por lo tanto la basicidad del mortero disminuye la protección que este ofrece a las armaduras por lo que puede iniciarse el ataque a las mismas con el consiguiente aumento de volumen (el óxido tiene un volumen ocho veces mayor que el metal que lo forma). Dicho aumento provoca tensiones internas que provocan la fisuración.

El fenómeno es más acentuado en los metales férricos que se deben proteger siempre contra la corrosión.

5.- Cambios dimensionales. Expansión por humedad.

Las piezas cerámicas, a pesar de su rigidez dilatan o contraen por cambios térmicos o por efecto de la humedad. En obra se colocan húmedos y al secar contraen, manifestándose en grietas que normalmente se producen en las juntas del mortero. Para evitarlo, se deben realizar juntas de dilatación que permitan movimientos parciales de la obra.

La expansión por humedad se puede definir como la característica que tienen los productos cerámicos de aumentar mínimamente sus dimensiones, como consecuencia de la fijación de agua procedente de la humedad ambiente. Dicha característica no es específica de la cerámica, ya que existen otros materiales de construcción cuya estabilidad dimensional depende en gran medida de su contenido de humedad.

Son de sobra conocidas, por ejemplo, la influencia de la humedad en obras ejecutadas con yeso, las variaciones en la retracción de hormigones y los cambios dimensionales de la madera.

La expansión por humedad en los materiales cerámicos depende de varios factores, entre los que destacan como más importantes:

- El tipo de arcilla.
- La temperatura de cocción.
- El tiempo desde la cocción hasta la puesta en obra.
- La humedad.

La influencia del tipo de arcilla es decisiva, de tal modo que las expansiones de mayor magnitud se dan en piezas compuestas por arcillas de tipo caolinítico, mientras que aquellas en las que se utiliza arcilla con alto contenido calcáreo presentan expansiones muy reducidas.

La temperatura es otro factor importante, ya que para cada tipo de arcilla existe una temperatura de cocción para la cual la expansión es máxima. Sin embargo, esta temperatura crítica no suele coincidir con la temperatura óptima de cocción, lo que hace muy importante el empleo de ladrillos bien cocidos.

La relación entre composición y temperatura parece influir en la formación de varios compuestos químicos inestables, estos son las espinelas de sílice-alúmina con defectos en su red cristalina, que pasan a estabilizarse fijando moléculas de agua con un ligero aumento de volumen.

El análisis del tercer factor, el tiempo, permite reconsiderar la relación expansión-tiempo como una curva de tipo exponencial, con una asíntota horizontal, observándose que una parte importante de la expansión total de la pieza se produce en los primeros días tras su cocción.

La humedad, cuarto factor estudiado, produce la aceleración de la expansión. Este efecto puede utilizarse para que la expansión del material se realice sin producir daños. Simplemente humedeciendo el ladrillo en los días anteriores a su puesta en obra se puede reducir considerablemente su expansión residual (véase expansión por humedad en nuestros ladrillos hidrófugados).

Los efectos perjudiciales son muy escasos en nuestro país, debido fundamentalmente al tipo de arcillas que se emplean. No ocurre lo mismo en países como Francia o Australia, donde los problemas ocasionados por este fenómeno llegan a ser de gran importancia.

En todos los casos en que se han podido estudiar patologías en los muros motivados por la expansión por humedad han coincidido los siguientes factores:

- La materia prima tenía gran proporción de caolinita.
- La cocción de la pieza era defectuosa.
- La puesta en obra se hacía inmediatamente después de fabricarse el ladrillo.
- No existía posibilidad de absorber el aumento dimensional, por no haberse previsto juntas de dilatación adecuadas o por ser piezas cuyo movimiento estaba totalmente coaccionado por elementos estructurales.
- La puesta en obra se hacía sin humedecer previamente el material y en periodos de tiempo seco.

En la figura 5.1 puede verse el efecto de la expansión por humedad sobre una fachada de ladrillo cerámico.

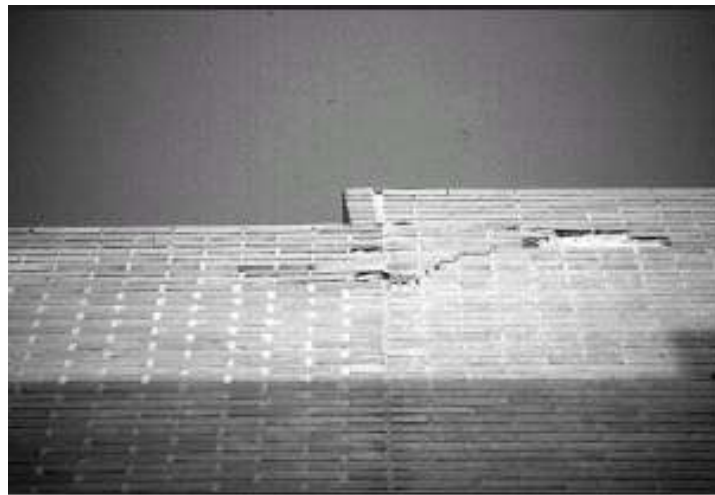


Figura 5.1.- Efecto de la expansión por humedad sobre una fachada de ladrillo cerámico.

Recomendaciones.

Como conclusión de lo expuesto y con objeto de evitar problemas cuya causa sea la expansión por humedad, se recomiendan las siguientes precauciones:

- Conocer los valores de la expansión por humedad del ladrillo que se va a utilizar.
- Colocar ladrillos que lleven fabricados al menos una semana si el valor de su expansión es alto.
- Mantener húmedos los ladrillos hasta su puesta en obra.
- Disponer juntas de dilatación a distancias adecuadas, teniendo en cuenta tanto la posible expansión del material como las dilataciones térmicas.

En este sentido cabe señalar que, las distancias que establece la NBE FL-90. “Muros resistentes de fábrica de ladrillo” parecen excesivas, por lo que recomendamos una separación máxima de 25m entre juntas, para climas marítimos y de 20m para climas continentales.

6.- Eflorescencias.

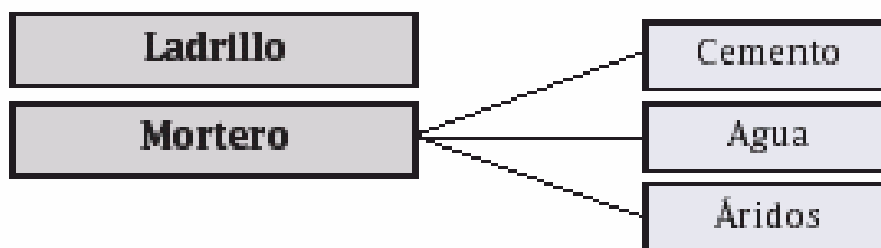
Las eflorescencias son manchas producidas por la cristalización de sales solubles como nitratos, sulfatos alcalinos o de magnesio, que están disueltas en el agua y al evaporarse ésta, aparecen en la superficie del ladrillo. Normalmente se trata de un problema leve de tipo estético, que no afecta a la durabilidad del ladrillo, a excepción de los casos en que se produzca un aporte continuo de sales procedentes del terreno, y que se autoelimina a corto plazo con los ciclos naturales de humectación-secado. Si la cristalización se produce con aumento de volumen y se da internamente puede disgregar la pieza.

La causa directa de las eflorescencias es la migración de una solución salina a través del sistema capilar del conjunto mortero-ladrillo y la acumulación de dichas sales solubles en la superficie expuesta, donde se produce una evaporación relativamente rápida. En las zonas de máxima evaporación, se precipitan las sales cuando la solución sobrepasa su concentración de saturación.

Aunque en algunos casos pueden tener un aspecto muy parecido, es importante no confundir las eflorescencias con las manchas de mortero, debidas a una deficiente eliminación del sobrante de este material durante la ejecución de la fábrica.

Origen de las sales solubles.

Si bien la aparición de eflorescencias se produce en la superficie del ladrillo, favorecida por la naturaleza del sistema capilar de éste con respecto al mortero, el origen de las sales solubles causantes del problema puede estar en cualquiera de los elementos que componen la fábrica:



En el ladrillo pueden existir sales solubles en forma de sulfatos (sodio, potasio, magnesio y calcio), cuyo origen hay que buscarlo en las arcillas de que se compone, o bien en los combustibles empleados durante la cocción.

- Del terreno cuando contiene aguas sulfatadas que ascienden por capilaridad en las bases de la obra.
- Del agua de obra cuando esta es salina y se utiliza en el amasado o para mojar las piezas cerámicas.
- De reacciones de los componentes del mortero con la cerámica.

El mortero, constituido a su vez por tres componentes, es en muchos casos la principal fuente de sales causantes de eflorescencias.

Las causas físico-químicas que favorecen la aparición de eflorescencias en el ladrillo, debidas al mortero son:

- Los morteros poseen cantidades apreciables de sales solubles, en especial álcalis libres (hidróxidos de sodio y potasio).
- Debido a la relación de intercambio, el hidróxido cálcico hace que el contenido de sulfatos alcalinos del ladrillo aumente en su presencia.

- Las adiciones activas de los cementos pueden contener en algunos casos sulfatos solubles. Las últimas investigaciones realizadas sobre la influencia del cemento en la aparición de eflorescencias en las fábricas de ladrillo, parecen establecer una relación directa entre el contenido de sulfatos y la aparición de este defecto.
- La pasta del mortero contiene agua abundante, que sirve de vehículo para el transporte de las sales.
- El ladrillo es un elemento poroso, capaz de ejercer en algunos casos una importante succión capilar.
- Existe una gran superficie de contacto entre el ladrillo y el mortero que permite el paso de los componentes solubles del mortero.
- La velocidad de evaporación del agua es, por lo general, mayor en la superficie del ladrillo que en la de mortero. Esta circunstancia favorece el establecimiento de un flujo de sentido único.

Como complemento se expone a continuación el resultado de un estudio experimental en el que se realizó el ensayo de eflorescencias según UNE 67029 sobre un ladrillo previamente calificado como ligeramente eflorescido, rellenando con mortero las perforaciones y después de un curado de 28 días.

Como lo que se trataba era de comprobar la influencia de distintos cementos, se elaboraron los morteros con arena lavada y agua destilada, variando sólo la procedencia del cemento (de doce fábricas distintas de España).

Tras el ensayo, las distintas muestras fueron calificadas como sigue:

- Ligeramente eflorescido . . . 4 muestras.
- Eflorescido 3 muestras.
- Muy eflorescido. 5 muestras.

Las grandes diferencias observadas en el resultado, son suficientemente ilustrativas sobre la influencia del cemento en la aparición de eflorescencias. Como puede verse, en casi el 70% de los casos el comportamiento del conjunto ladrillo- mortero empeoró frente al del ladrillo solo.

Recomendaciones.

El fenómeno de la eflorescencia es complejo, función de múltiples variables que difícilmente pueden ser controladas en su totalidad. No obstante se pueden dar una serie de recomendaciones de puesta en obra y de diseño que reducirán su importancia:

- Utilizar ladrillos calificados como no eflorescidos o ligeramente eflorescidos.
- Verificar la influencia del mortero realizando pruebas previas a la obra con los mismos componentes que se vayan a utilizar en ésta, y a ser posible realizar el ensayo de eflorescencia del conjunto ladrillo mortero. En este sentido se puede indicar que los cementos blancos producen menos eflorescencias, al igual que suele ocurrir cuando se utilizan morteros de planta, aunque en este último caso hay que tomar esta afirmación con mayor cautela.
- Apilar los ladrillos sobre superficies limpias evitando el contacto con el suelo, ya que en presencia de agua, el ladrillo podría absorber sales solubles procedentes del terreno que provocarían eflorescencias con posterioridad.
- Puesto que el agua es el vehículo que transporta las sales, no es recomendable mojar en exceso el muro tras su ejecución, si bien en épocas calurosas debe aportarse la humedad precisa para evitar la deshidratación del mortero.

- En tiempo lluvioso se debe proteger la parte superior de los paramentos cuando estos queden sin rematar al final de la jornada, para evitar acumulación de agua en las perforaciones del ladrillo.
- El enfoscado de la cara posterior del paramento se realizará pasadas al menos 48 horas desde la terminación del muro, de esta forma se rompe la continuidad capilar y es menos probable la aparición de eflorescencias motivadas por las sales de este mortero.
- Cuando se utilice espuma de poliuretano sobre el intradós del muro como aislamiento, se tendrá la precaución de efectuar su proyección una vez haya secado el muro, en caso contrario, se estará obligando a que la totalidad de la humedad residual salga a través de la cara vista.

A nivel de diseño conviene tener presente los siguientes aspectos:

- Cuando un muro vaya a estar en contacto con tierra, como es el caso de jardineras y muretes de contención, debe impermeabilizarse perfectamente el intradós del muro, con objeto de evitar el aporte continuado de sales procedentes del terreno, que no solo producirán la aparición de manchas de eflorescencia, sino que pueden llegar en algunos casos a dañar el ladrillo.
- Es igualmente importante disponer de láminas antihumedad en el arranque de todo tipo de muros de fábrica de ladrillo, que eviten la ascensión capilar del agua .
- Se cuidará el diseño de los elementos de protección necesarios para evitar los aportes de agua excesivos sobre la fachada en tiempo de lluvia, (aleros, vierteaguas, albardillas, canalones, etc.), poniendo especial atención en que estos elementos no produzcan a su vez concentración de agua sobre puntos aislados del paramento.
- Cuando se prevean condiciones expuestas para los paramentos vistos, se cuidará la elección del modelo de ladrillo, siendo aconsejable la utilización de ladrillos hidrófugos o modelos con baja absorción, que reducen las consecuencias negativas que pueden ocasionar frecuentes aportes de agua sobre los mismos.

Resumiendo, dado que el agua actúa como disolvente y vehículo de las sales, se reducirá al máximo su presencia en la fábrica para prevenir eflorescencias.

Eliminación de eflorescencias.

Partiendo de la base de que la mayor parte de las eflorescencias se autoeliminan con los ciclos naturales de humectación-secado, somos conscientes de que su máxima intensidad suele coincidir con la terminación de la obra, por lo que son frecuentes los tratamientos de limpieza. En este sentido conviene tener en cuenta lo siguiente:

- No se deben limpiar paramentos que no estén secos, pues podría ocurrir que después del proceso de limpieza, el agua que falta por eliminar vuelva a traer sales a la cara vista.
- Si la única suciedad de la fachada se debe a cristalización de sales (no existen además manchas provocadas por el mortero o por otros elementos), en muchas ocasiones basta proceder a un cepillado previo de las zonas afectadas, a fin de desprender la mayor parte de las sales cristalizadas, y a un posterior lavado con agua limpia comenzando por la parte superior, procurando evacuar el agua que escurre cargada de sales, ya que de no hacerlo así, será absorbida por la parte inferior del paramento, aumentando la concentración salina.

El lavado a presión mejora los resultados al desincrustar las sales de la superficie, procurando no dañar el llagueado.

- Si, como es frecuente, la fachada tiene además manchas de mortero, se pueden adicionar pequeñas cantidades de ácido, teniendo la precaución de regar antes y después con agua limpia, para evitar daños en la llaga de mortero.

Fenómenos físicos causantes de eflorescencias. Mojado y secado de los ladrillos.

En la formación de eflorescencias hay que considerar las cantidades tan sumamente pequeñas de sales que intervienen en el proceso y que en una aproximación cuantitativa se estima en cienmilésimas o incluso millonésimas del peso del ladrillo, en tanto que el contenido en sales propiamente dicho del ladrillo es del orden de milésimas de su peso.

Con independencia de la justificación química que se ha dado hasta ahora, existen otros factores de tipo físico tanto intrínsecos como extrínsecos del ladrillo, que intervienen en la formación de eflorescencias y que pueden explicar fenómenos como por ejemplo el hecho de que ladrillos que no son eflorescibles en laboratorio, en obra presenten problemas, o también el hecho de que las eflorescencias sean más frecuentes en primavera, etc.

Comenzaremos por hablar de la influencia de la temperatura en la solubilidad de las sales. Es conocido el hecho de que el agua caliente es capaz de disolver más cantidad de sal que el agua fría, por tanto, si una solución saturada a una temperatura moderada se enfría, supera el límite de solubilidad, produciéndose la expulsión y cristalización parcial de la sal.

Por otra parte, para un mismo contenido en sal, una solución estará más concentrada cuanto más baja sea la cantidad de agua contenida en el elemento constructivo, condicionando por tanto el coeficiente de absorción la concentración de la solución y por tanto el tiempo necesario para producirse la eflorescencia.

Estos dos fenómenos actuando simultáneamente justifican el hecho de que la mayor parte de las eflorescencias se produzcan durante la primavera, cuando las paredes, húmedas por la acción del invierno se encuentran expuestas a temperaturas bajas y a la acción simultánea del viento y del sol, lo que origina rápidas evaporaciones de agua y como consecuencia de ello un aumento en la concentración salina, hasta llegar a la saturación y a la posterior cristalización de las sales.

Otro factor a tener en cuenta es la forma y tamaño de la red capilar. Si bien la evaporación siempre se efectúa por la superficie libre del ladrillo, es posible no obstante que las superficies líquidas de los meniscos de la solución puedan estar en el extremo exterior del capilar o en las zonas más internas de los mismos. Según la zona donde se produzca el depósito de sal, dará origen a la criptoflorescencia o a la eflorescencia.

En cuanto a la forma de la sección transversal de los poros, presentan un comportamiento diferente los capilares de sección circular y los de sección con fuertes variaciones de sus radios de curvatura, produciéndose eflorescencias más fácilmente en este último caso.

También resulta interesante considerar la variación de la distribución de sales en los ladrillos recién cocidos, debido a las reacciones producidas en el horno entre los gases existentes y la arcilla, que da origen a determinadas sales, las cuales por su procedencia, tenderán a situarse preferentemente en las capas superficiales de los ladrillos. Este hecho no es detectado fácilmente en laboratorio, puesto que en estos ensayos se realizan con muestras pulverizadas, lo que dará como resultado un valor medio del contenido en sales del ladrillo, pero sin contemplar la mayor concentración de las mismas que existe en las capas externas de aquel. Normalmente el contenido en sulfatos de la superficie de un ladrillo es notablemente más elevado que en su interior.

Por último, al estudiar las eflorescencias, es importantísimo considerar la manera en que se realiza el mojado y el secado de los ladrillos. Llamamos cara de evaporación a aquella, a través de la cual el agua se evapora a mayor velocidad. Es decir, esta cara señala la dirección y el sentido del flujo predominante del agua, en su camino de salida. En un muro, la cara de evaporación es la cara vista de los ladrillos (Figura 6.1).

Si el agua entra en el ladrillo por la misma cara que después ha de salir por evaporación, la eflorescencia es menos probable que si el mojado se hace por alguna otra cara. Existen pues, más posibilidades de que se produzca

la eflorescencia si el ladrillo recibe el agua por una de sus caras y se evapora por otra diferente que si el mojado y la posterior evaporación se realizan por la misma cara. La razón de esta afirmación se basa en el hecho de que si el agua accede al ladrillo por una de sus caras, comienza a disolver las sales que encuentra a su paso; a medida que continúa la aportación de agua, esta encuentra menos sal que disolver, resultando la solución mas diluida.

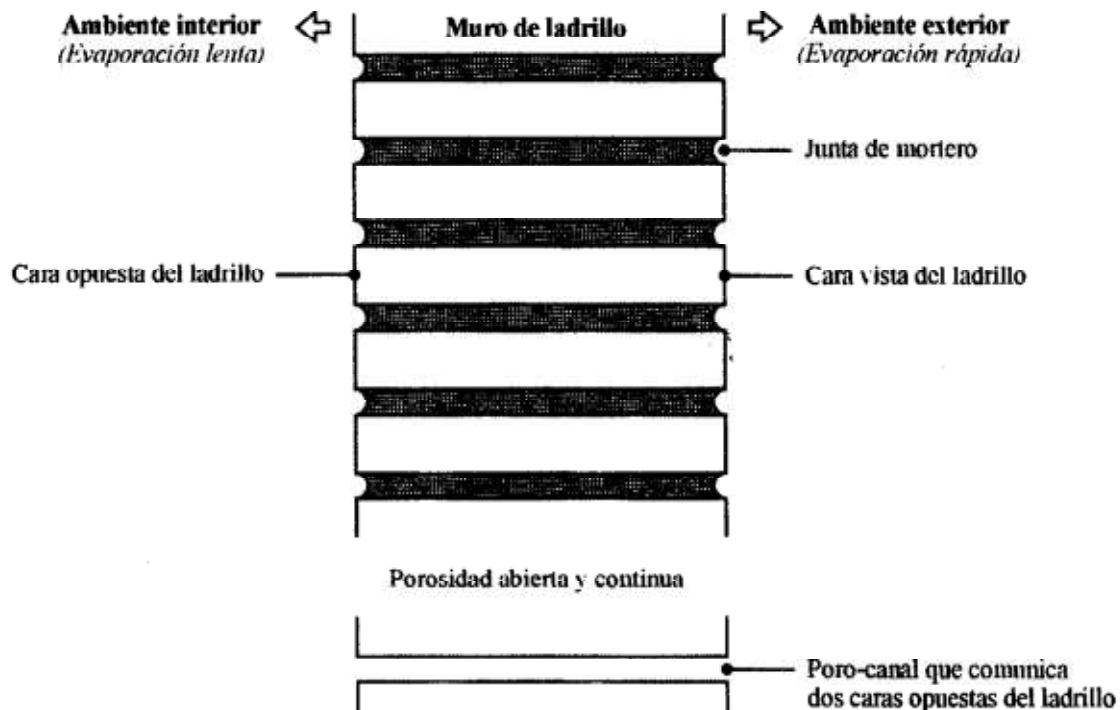


Figura 6.1.- Comunicación de los ambientes interior y exterior a través de la porosidad abierta y continua de los ladrillos que constituyen el muro.

Mojado por la cara de evaporación.

Este sería el caso de un muro seco que se moja en su cara externa por el agua de lluvia. Es evidente que el agua entra, en forma líquida, por la misma cara a través de la cual ha de salir después en forma de vapor.

Las primeras porciones de agua de lluvia van disolviendo sales a medida que penetran hacia el interior del ladrillo por los capilares. Las siguientes porciones de agua encuentran cada vez menos sales que disolver, y quedan, por tanto, más diluidas (Figura 6.2).

Los fenómenos de difusión en la solución de los capilares son lentos y, en consecuencia, se tarda mucho tiempo en alcanzar una homogeneidad de concentraciones en dichas soluciones.

Si el proceso de secado comienza antes de que se homogeneicen las concentraciones, la solución próxima a la cara externa del ladrillo estará diluida y, al producirse la evaporación, los meniscos retrocederán en los capilares grandes distancias antes de que se alcance la saturación de la solución. En este caso el depósito salino queda oculto y la eflorescencia no se manifiesta.

Si se hubiese permitido suficiente tiempo para que se homogeneizaran las concentraciones, la solución próxima al exterior estaría más concentrada y, en consecuencia, sería más probable que se produjesen eflorescencias visibles.

En resumen, cuando el agua líquida penetra en el ladrillo por su cara de evaporación, la situación es favorable a que existan soluciones diluidas en los capilares próximos a la superficie y, por tanto, a que las sales cristalicen en el interior del ladrillo, y no se formen eflorescencias.

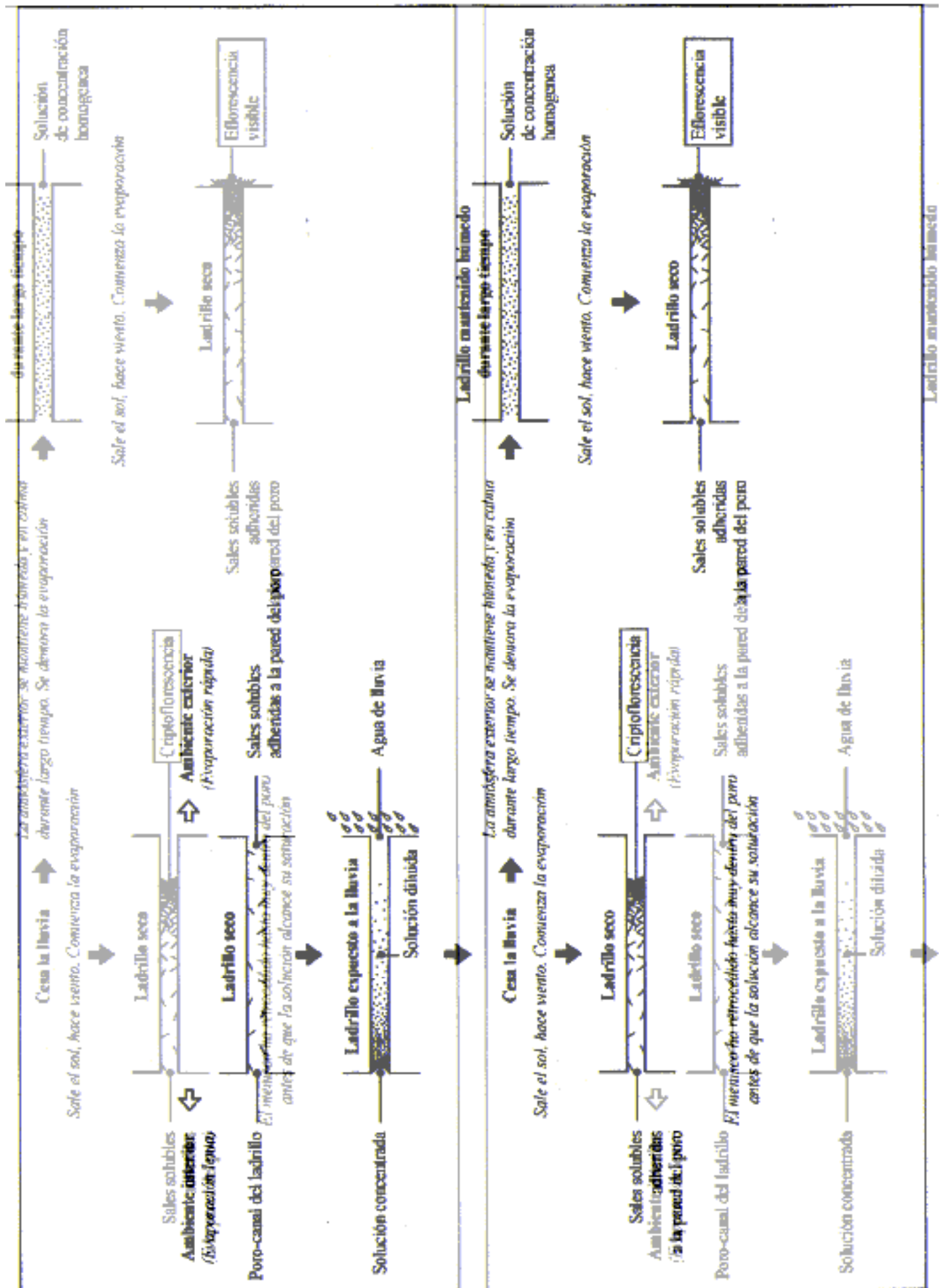


Figura 6.2.- Mojado del ladrillo por una cara y secado preferente por la misma cara.

Mojado por caras distintas a la de evaporación (Figura 6.3).

Si el agua entra por una cara y se evapora por otra diferente, el caso es mas grave, puesto que a medida que progresa el agua por la red capilar del ladrillo aumenta su concentración al ir aportándose continuamente sal a la solución y llegando a la superficie de evaporación saturada o con una elevada concentración, por lo que la cristalización se produce en cuanto comienza el secado. Esto justifica el que en casi todas las obras nuevas se produzcan unas eflorescencias durante el primer secado, debido a que los ladrillos para su colocación se suelen mojar por todas sus caras, mientras que el secado tan solo se va a producir a través de una de ellas.

Los ensayos de eflorescencia, como pretenden ser severos, establecen que el mojado se haga de este modo, para poner de manifiesto hasta la más débil tendencia a eflorescer de los ladrillos.

En resumen, cuando el agua líquida penetra en el ladrillo por caras distintas a la de evaporación, la situación es propicia a que existan soluciones concentradas en los capilares próximos a la superficie y, por tanto, a que las sales cristalicen formando eflorescencias.

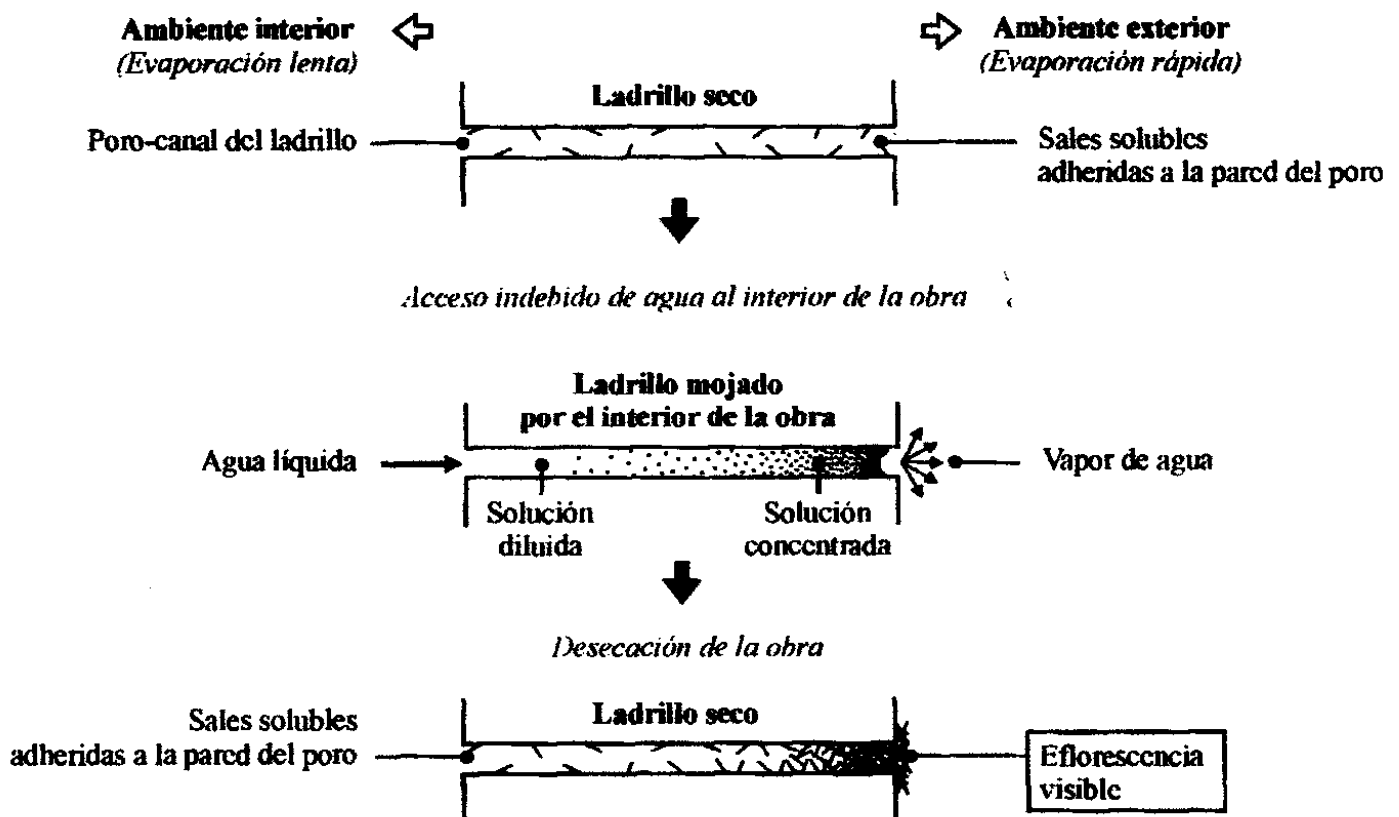


Figura 6.3.- Mojado del ladrillo por una cara y secado preferente por la cara opuesta.

Consideraciones prácticas sobre el mojado y el secado de los ladrillos.

Las eflorescencias suelen manifestarse muy claramente en las obras nuevas, durante el primer secado. La razón de ello es que los ladrillos han sido mojados por todas sus caras antes de ser colocados, y también durante la colocación. El secado, sin embargo, se verifica preferentemente por una sola cara.

Para aminorar este efecto, debería mantenerse la obra de ladrillo todo lo seca que sea posible durante la construcción. Ahora bien, el mayor o menor mojado de los ladrillos antes de ser colocados en obra, debe ser decidido teniendo en cuenta, no solamente su repercusión sobre la eflorescibilidad, sino también, y de modo

muy destacado, sobre la adherencia final que se logre entre el ladrillo y el mortero. La adherencia, a su vez, influye sobre la resistencia y la impermeabilidad del muro.

En general, los ladrillos no deben mojarse antes de su colocación, salvo cuando tengan un coeficiente de absorción muy elevado o se encuentren con suciedad que reduzca un adecuado contacto con el mortero, en cuyo caso el mojado debe ser muy breve, para impedir la saturación del mismo.

Si se dejan las pilas de ladrillos al descubierto, y reciben fuertes lluvias, la cantidad de eflorescencia aumenta. Lo mismo ocurre cuando se deja sin cubrir la obra en curso cuando se interrumpe el trabajo a causa de la lluvia, o cuando sorprende la lluvia al muro descubierto, fuera de las horas de trabajo. Las líneas de eflorescencias que se observan en algunos edificios suelen corresponder a los lugares donde se interrumpió el trabajo a causa de fuertes lluvias. Muy a menudo se olvida la precaución de cubrir los materiales y las obras no terminadas durante el tiempo húmedo.

Cuando ya está la obra acabada, la lluvia incide sobre la cara descubierta de los ladrillos, y tiende a arrastrar las sales hacia su interior.

El siguiente brote de eflorescencia puede producirse al secarse la obra en primavera, cuando las temperaturas aún son bajas, y la larga persistencia del ambiente húmedo invernal ha evitado la evaporación y, en consecuencia, ha permitido que se homogeneice la concentración de sal de la solución que impregna el ladrillo.

Los siguientes brotes de eflorescencia que se producen en temporadas sucesivas suelen ser más benignos, o incluso no llegan a producirse, debido a que se alcanza un estado de equilibrio en el cual el agua que penetra por la cara de evaporación empuja hacia el interior del ladrillo una cantidad de sal que compensa la que se mueve hacia el exterior durante el secado. Evidentemente, cuando este equilibrio se rompe, por alguna razón, las eflorescencias reaparecen y, a veces, son muy abundantes.

Cuando un ladrillo deja de eflorescer, no hay que interpretar que las sales han sido ya totalmente eliminadas por lavado. En realidad, las sales se encuentran sometidas a unos ciclos de disolución y cristalización, en el interior de los capilares, y estos ciclos son de tal naturaleza que las sales nunca llegan a cristalizar en la superficie.

Ahora bien, cuando cambian las circunstancias externas, este equilibrio se modifica, y las sales cristalizan en otros lugares. Esta situación se hace dramática cuando una obra seca y equilibrada recibe un aporte inesperado de agua en su interior. El resultado de esta mojadura suele ser, casi siempre, la formación de una intensa eflorescencia.

Es imprescindible impedir que los ladrillos y las fábricas absorban sales del exterior. Para ello no se deberán apilar ladrillos sobre escorias de hornos con gran contenido en sales solubles y se aislarán las fábricas del contacto con el terreno, para impedir la succión capilar de las sales contenidas en el mismo, sobre todo si es de origen industrial orgánico, etc., ya que las eflorescencias originadas por estos agentes externos son habitualmente las más graves.

7.-Impermeabilidad frente al agua de lluvia.

Cuando la superficie exterior de un muro de ladrillo se moja por acción del agua de lluvia, la humedad tiende a desplazarse hacia la parte seca del mismo. Si la humedad llega a la cara interior del muro siendo éste de una hoja, los problemas que esto crea son bien conocidos: deterioro del revestimiento interior y de los materiales colocados en sus inmediaciones y un ambiente insano en la habitación por el exceso de humedad relativa.

En los muros de doble hoja se puede producir el mismo efecto anterior en los puntos en que existan llaves que unan las dos hojas. En la cámara de aire se producirán con mayor facilidad condensaciones que pueden terminar haciendo aparecer la humedad en el interior. Si el espacio entre las dos hojas está ocupado por un aislamiento térmico, su efectividad se reducirá considerablemente.

En la construcción actual, mucho más ligera que la antigua, los muros exteriores han pasado a desarrollar funciones de mero cerramiento, reduciendo sus espesores y descuidando las tradicionales técnicas de buena ejecución.

Si bien es cierto que las causas de la aparición de manchas de humedad en el interior de una pared de ladrillo pueden ser diversas, muchas de ellas relacionadas con los encuentros con otros elementos, como carpinterías o elementos estructurales.

Se pretende aquí hacer hincapié en los aspectos en los que interviene únicamente el ladrillo y su forma de colocación.

Durante los años 1984-85, se realizaron en los laboratorios del INCE de Madrid, distintos ensayos con el fin de evaluar la influencia de cada uno de los factores que podían considerarse como causas de la penetración de la humedad a través de los muros de ladrillo cara vista. Los aspectos estudiados fueron:

- Espesor de la pared de la cara vista.
- Succión y absorción del ladrillo.
- Tipo de llaga de mortero (enrasada o rehundida).
- Unión mortero-ladrillo.

Para comprobar la influencia de los tres primeros factores, se elaboraron muretes de medio pie de espesor con diferentes ladrillos cuya succión y absorción variaban desde valores moderados a muy altos y con espesores de pared comprendidos entre 29 mm y 11 mm. Los muretes fueron ejecutados por la misma cuadrilla de albañiles especialistas en cara vista, se empleó en todos los casos el mismo mortero y se dividieron verticalmente los muretes en dos mitades: una de las mismas se ejecutó con llaga enrasada y la otra con llaga rehundida; el intradós de los muros se recubrió con una delgada capa de yeso a fin de observar nítidamente la aparición de manchas.

Se procedió, una vez transcurridos 28 días, en los que se cuidó el perfecto curado del mortero, a someterlos a la acción de la máquina de aguaviento, con los siguientes resultados:

- 1.- No se apreciaron diferencias entre la utilización de llaga enrasada y rehundida.
- 2.- No se observó mejora en el comportamiento por aumento del espesor de pared.
- 3.- Las manchas de humedad aparecidas en periodos cortos de lluvia coincidían con defectos locales en la zona de contacto mortero-ladrillo, (fisuras y grietas apreciables a simple vista). Estos defectos parecían provocados por una deshidratación prematura del mortero, más notoria en los modelos con alta succión, por lo que parecía motivada por esta característica del ladrillo, al no haber sido previamente humedecidos los ladrillos.

Para verificar esta hipótesis se elaboraron cuatro nuevos muretes de cada uno de los modelos de ladrillo, de tal manera que el primero se realizó con las piezas secas, el segundo, sumergiéndolo en agua durante un segundo el ladrillo inmediatamente antes de su colocación, el tercero con un minuto de inmersión y el cuarto con cinco minutos. Se adosó un marco metálico sobre la cara de los muretes sellando las juntas para permitir embalsar tres centímetros de agua, con los muretes en posición horizontal. Además se ensayaron en posición vertical al paso de una corriente de agua de caudal tres litros por minuto, regularmente repartida.

Los resultados obtenidos reflejaban de forma clara que, independientemente de las características del ladrillo, las manchas de humedad aparecían en primer lugar en aquellos ladrillos que se habían colocado secos, retardándose su aparición en función del grado de humedecimiento a que se había sometido el ladrillo. De lo que se desprende que si no se aminora el efecto de succión del ladrillo, mediante su hidratación previa, el mortero se deshidrata en las primeras etapas de fraguado, lo que provoca fallos en la adherencia mortero-ladrillo y la aparición de fisuras entre ambos elementos por los que penetra fácilmente el agua hasta alcanzar la cara posterior.

El mecanismo descrito se produce en todos los tipos de ladrillos a excepción de los de muy baja succión (hidrófugos y klinker), y aumenta escalonadamente con la misma. Si bien, cuando el ensayo se prolonga hasta las 24 horas, se pueden observar diferencias claras entre los ladrillos en función de su absorción, en ensayos de hasta seis horas el comportamiento de los ladrillos es similar, marcando las diferencias en éstos, básicamente, el grado de humedad previa del ladrillo.

Recomendaciones.

Como recomendación fundamental está la de humedecer, de forma previa a su colocación en obra, todos los ladrillos cuya succión sea superior a $0,10 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$. Este humedecimiento habrá de ser suficiente para bajar la succión por debajo de esa cifra máxima y uniforme para evitar succiones diferenciales que imposibilitarían la elección del mortero adecuado. Es necesario extremar estos cuidados si la llaga es muy estrecha, ya que se aumenta la influencia de este factor.

Cuidar la ejecución de las llagas, evitando que puedan quedar espacios sin rellenar. Esto es frecuente, especialmente en las llagas verticales. El repaso de las juntas de mortero con el “llaguero” mejora el comportamiento de las mismas, además del aspecto estético de la fachada.

En paramentos en situación expuesta y situados en zonas donde sean previsibles periodos prolongados de lluvia, se tenderá a utilizar ladrillos de moderada o baja succión - absorción de agua, cuidando además su puesta en obra.

La utilización de ladrillos dotados de muesca semicircular en la testa mejora el comportamiento de las juntas verticales en ladrillos fabricados por extrusión. Para ladrillos prensados se amplían las ventajas a la junta horizontal empleando ladrillos con “cazoleta continua” y muescas en sus testas.