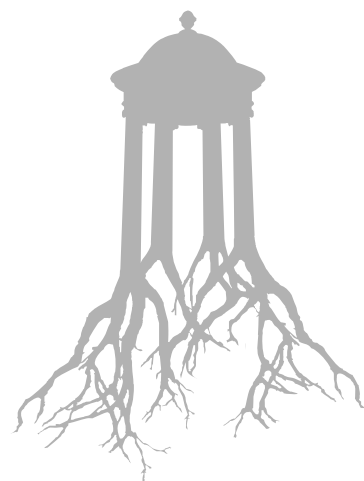




Anomalías constructivas en la edificación residencial →

César Díaz, Còssima Cornadó
Jesús Arribas, Ramon Gumà,
Estefanía Martín, Pere Santamaria,
Marc Seguí, Sara Vima



iniciativa
digital politècnica

Publicacions Acadèmiques de la UPC

→ **UPCPOSTGRAU**

Anomalías constructivas en la edificación residencial →

César Díaz, Còssima Cornadó
Jesús Arribas, Ramon Gumà,
Estefanía Martín, Pere Santamaria,
Marc Seguí, Sara Vima

Primera edición: octubre de 2021
Reedición: marzo de 2022

© Los autores, 2021
© Iniciativa Digital Politècnica, 2021
Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC
Jordi Girona 31,
Edifici Torre Girona, Plant 1, 08034 Barcelona
Tel.: 934 015 885
www.upc.edu/idp
E-mail: info.idp@upc.edu

DL: B 16230-2021
ISBN:978-84-9880-962-6

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista en la ley.



Índice

Prólogo	9
<i>Còssima Cornadó, César Díaz</i>	
I. Relación y clasificación de las anomalías	13
<i>Còssima Cornadó, César Díaz</i>	
I.1. Denominación y listado de las anomalías	14
I.2. Localización de las anomalías	18
I.2.1. Por el material o elemento constructivo afectado	18
I.2.2. Por el tipo de daño	20
I.2.3. Por la causa inductora del daño	20
II. Descripción de las causas de las anomalías y de las pautas de intervención	23
ES1. Estructura muros	25
<i>César Díaz, Còssima Cornadó</i>	
Anomalía 1. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros gruesos	26
Anomalía 2. Abombamientos y desplomes progresivos en muros gruesos de fachada de edificios antiguos	32
Anomalía 3. Pérdida de cohesión de la arcilla en muros afectados por el agua... ..	35
Anomalía 4. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros de ladrillo de media asta	37
ES2. Estructura: de hormigón armado, metálica o de madera	
<i>César Díaz, Còssima Cornadó, Jesús Arribas</i>	
Anomalía 5. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en jácenas y pórticos de hormigón armado	42
Anomalía 6. Grietas debidas a las cargas verticales en ménsulas cortas de hormigón armado	48
Anomalía 7. Grietas en el hormigón y hormigón armado de formación anterior a su endurecimiento	50
Anomalía 8. Grietas de retracción en el hormigón y hormigón armado endurecidos	55



Anomalía 9. Corrosión de las armaduras de acero en elementos resistentes de hormigón armado	60
Anomalía 10. Corrosión de elementos resistentes en estructuras metálicas de acero	64
Anomalía 11. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en pilares de piedra o ladrillo cerámico macizo	66
Anomalía 12. Grietas debidas a las cargas verticales en dinteles de piedra o ladrillo	69
Anomalía 13. Pudrición de pilares, vigas y viguetas de madera.....	72
Anomalía 14. Ataque de los insectos xilófagos en pilares, vigas y viguetas de madera	76
ES3. Estructura: forjados, bóvedas	83
<i>César Díaz, Còssima Cornadó, Ramon Gumà, Pere Santamaria, Marc Seguí</i>	
Anomalía 15. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de viguetas de hormigón armado o pretensado	84
Anomalía 16. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados reticulares y losas macizas de hormigón armado	87
Anomalía 17. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de cerámica armada	91
Anomalía 18. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en vigas y forjados con viguetas de madera	94
Anomalía 19. Grietas y otros daños debidos a la flexión diferida de los forjados en tabiquerías y pavimentos	99
Anomalía 20. Grietas en techos entre bovedillas y viguetas del forjado.....	103
Anomalía 21. Presencia de cemento aluminoso en viguetas y nervios de hormigón armado o pretensado de los forjados.....	105
Anomalía 22. Corrosión de las armaduras de acero en forjados de cerámica armada	108
Anomalía 23. Rotura y desprendimiento de bovedillas en forjados de cerámica armada o de viguetas metálicas o de hormigón	110
Anomalía 24. Corrosión de los elementos resistentes metálicos en balcones, porches y galerías abiertas.....	113
Anomalía 25. Grietas y deformaciones en bóvedas y arcos de piedra o ladrillo....	117
Anomalía 26. Grietas en las bóvedas cerámicas de escaleras.....	123
Anomalía 27. Deterioro de las losas de piedra de los balcones y otros elementos volados.....	125
ES4. Estructura: cimentación.....	129
<i>César Díaz, Estefanía Martín</i>	
Anomalía 28. Grietas por movimientos de la cimentación en muros, tabiques, techos y pavimentos	130
Anomalía 29. Grietas por movimientos de la cimentación en los pilares y jácenas de las estructuras porticadas de hormigón armado	137
ES5. Estructura: edificio en su conjunto	141
<i>César Díaz, Còssima Cornadó</i>	
Anomalía 30. Resistencia insuficiente de los edificios altos a la acción del viento..	142
Anomalía 31. Grietas y colapsos debidos a las acciones dinámicas	144

Anomalía 32. Grietas y deformaciones debidas a los movimientos de dilatación y contracción térmica en los edificios	149
EX1. Envoltente exterior: contacto con el terreno	157
<i>César Díaz, Estefanía Martín</i>	
Anomalía 33. Humedades debidas a la ascensión capilar del agua contenida en el terreno en muros de las plantas bajas y soleras	158
Anomalía 34. Filtraciones de agua contenida en el terreno en muros de contención de sótanos	165
Anomalía 35. Humedades e inundaciones en las cámaras sanitarias	168
EX2. Envoltente exterior: fachadas, cerramientos verticales	171
<i>César Díaz, Còssima Cornadó, Ramon Gumà, Marc Seguí, Sara Vima</i>	
Anomalía 36. Grietas y abombamientos en fachadas de ladrillo visto apoyadas parcialmente en los forjados	172
Anomalía 37. Desprendimientos en los revestimientos continuos de cal o cemento portland de los cerramientos exteriores	176
Anomalía 38. Grietas de retracción en muros de albañilería con revestimiento continuo	180
Anomalía 39. Desprendimiento de los recubrimientos de losetas cerámicas en las fachadas	183
Anomalía 40. Desprendimiento de los recubrimientos de piedra natural o artificial en las fachadas	187
Anomalía 41. Desprendimiento de los materiales de recubrimiento en los cantos de los forjados	192
Anomalía 42. Grietas en las fachadas debidas al choque térmico	196
Anomalía 43. Desprendimientos en barandillas, aleros y otros elementos de fachada	198
Anomalía 44. Humedades de condensación en muros y techos de los recintos habitados	201
Anomalía 45. Filtraciones del agua de riego de las jardineras de obra cerámica incorporadas en las fachadas	205
Anomalía 46. Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de ladrillo visto	207
Anomalía 47. Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de hormigón visto	210
Anomalía 48. Filtraciones de agua de lluvia por las juntas entre materiales, vierteaguas y encuentros de las carpinterías con la obra	212
Anomalía 49. Formación de eflorescencias y criptoeflorescencias en las fachadas de ladrillo visto	215
Anomalía 50. Erosión de los muros de piedra por los efectos de los agentes ambientales	217
Anomalía 51. Acción de los agentes inductores de la suciedad en las fachadas ..	220
EX3. Envoltente exterior: cubierta	225
<i>César Díaz, Còssima Cornadó, Pere Santamaria</i>	
Anomalía 52. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas planas	226
Anomalía 53. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas inclinadas de teja ..	230
Anomalía 54. Presencia de amianto en cubiertas y otros elementos de los edificios	233
Anomalía 55. Deterioros en los elementos estructurales ubicados en los desvanes de las cubiertas inclinadas	236



EX4. Envoltente exterior: edificio en su conjunto	239
<i>Còssima Cornadó, César Díaz</i>	
Anomalía 56. Efectos de la expansión del agua helada sobre los materiales porosos	240
Anomalía 57. Deterioros debidos al crecimiento de las raíces de los árboles y las plantas.....	242
PI. Otros elementos: pavimentos e instalaciones	247
<i>César Díaz, Marc Seguí</i>	
Anomalía 58. Grietas y abombamientos en pavimentosinteriores de baldosas cerámicas	248
Anomalía 59. Fugas en las instalaciones de suministro y evacuación de aguas ...	252
SH. Sostenibilidad y habitabilidad	255
<i>Còssima Cornado, Pere Santamaria, Sara Vima</i>	
Anomalía 60. Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas tradicionales	256
Anomalía 61. Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas modernas	261
Anomalía 62. Carencia en el aislamiento acústico del ruido exterior	268
Anomalía 63. Carencia en el aislamiento acústico del ruido interior	271
Fuentes de la información gráfica y fotográfica	275
Acrónimos de las fuentes documentales de las figuras	287



Prólogo

Son muchos los libros que con la denominación de patología tratan de las lesiones que presentan los edificios, incidiendo sobre sus causas, procesos y métodos de diagnóstico, con esquemas de agrupación según los tipos de lesión, las causas que las generan, el material o el elemento constructivo afectado. Sin embargo, para denominar el contenido del presente libro hemos preferido utilizar el término anomalía. Término que, ciertamente, admite un amplio abanico de significados, todos ellos relacionados con algo que no es normal, que no se aviene a la regla, que es defectuoso, pero que, precisamente, por su ambigüedad permite expresar lo que se pretende con mayor flexibilidad, a la vez que con mayor precisión que otras denominaciones, evitando tener que encajar y relacionar de forma unívoca cada situación a una causa generadora, a un material, a un agente externo o a una aplicación inapropiada.

Este enfoque es lo que constituye el aspecto novedoso del contenido del presente libro. Es decir, describir y comentar las situaciones anómalas que realmente se presentan en los edificios a partir de un nuevo planteamiento que permite adentrarse en cada una de ellas considerando su singular complejidad. Así entendidas, constatamos que las anomalías que sufren los edificios son limitadas en número, y que dicho número tiende a ser menor cuanto más se acotan y se precisan las características tipológicas, constructivas y de ubicación territorial de los edificios que se pretende analizar.

En nuestro caso, para establecer los límites de los edificios que engloba el presente libro tomamos como referente el uso residencial, abarcando todos los tipos de edificios con dicho uso, desde la casa rural aislada y el caserío hasta los edificios de mayor altura más propiamente urbanos finalizados recientemente. Como referente territorial los límites son más imprecisos, puesto que las similitudes tecnológicas pueden abarcar en las construcciones urbanas modernas ámbitos de aplicación enormemente amplios, capaces de superar incluso el ámbito continental, mientras que en las construcciones rurales o en los cascos antiguos, la mayor incidencia de las formas autóctonas y locales de construir reduce considerablemente sus ámbitos territoriales de aplicación. Estas últimas se han centrado en las técnicas a base de muros de tierra, piedra o ladrillo y con forjados y cubiertas soportados con elementos de madera de uso habitual en el sur de Europa y en otros muchos y más lejanos territorios. Por otra parte, algunas de las anomalías que sufren los edificios,



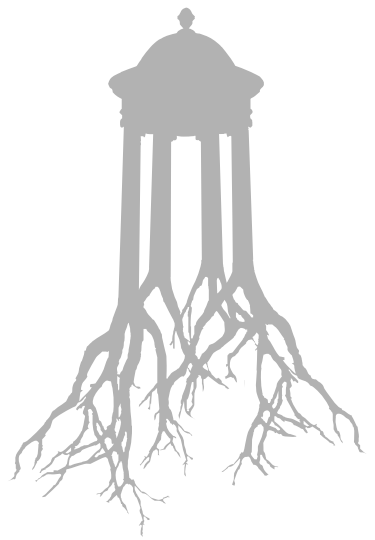
tales como las que provienen del terreno o de la cimentación, cabe considerarlas sin unos límites territoriales definidos, si bien la manifestación de muchos de los síntomas que generan los daños se relaciona de forma directa con las técnicas anteriormente citadas.

Con los niveles de concreción expuestos, no es difícil adivinar que la exhaustividad es un objetivo casi inalcanzable. De todas formas, creemos que las 63 anomalías que se exponen y comentan en el presente volumen abarcan un porcentaje muy elevado de la problemática habitual que afecta a los edificios incluíbles dentro de los límites expuestos. En ello radica su pretendida utilidad, al permitir acotar el conocimiento de los daños más frecuentes de los edificios residenciales al de un número limitado de situaciones anómalas.

Para facilitar un conocimiento más amplio, matizado y práctico de los temas tratados, se han incluido unas pautas sintéticas de las posibles formas de intervención aplicables a cada una de las anomalías consideradas y unas referencias bibliográficas también específicas para cada una de ellas.

El origen del material que contiene el presente libro es en buena parte el utilizado para la docencia de las asignaturas de grado y postgrado relacionadas con la patología y las técnicas de rehabilitación de edificios a lo largo de muchos años en la Escuela de Arquitectura de Barcelona, de la Universitat Politècnica de Catalunya. Este material se ha complementado con el aportado por los diversos autores de los contenidos de las 63 anomalías, todos ellos profesores que han impartido, o imparten aún, dichas asignaturas, con una variada experiencia profesional en torno a los temas relacionados con la edificación existente. Como coordinadores de hecho de la presente publicación y, actualmente o en el pasado, de muchas de las asignaturas aludidas, agradecemos su aportación y su interés en participar en esta obra colectiva, con el objetivo compartido de proporcionar una herramienta útil para el aprendizaje y para una mejor práctica profesional en el diagnóstico y la mejora de los edificios de nuestro entorno.

**Còssima Cornadó y César Díaz, editores.
Barcelona, Septiembre de 2021**







I. Relación y clasificación de las anomalías

El hecho de adoptar la anomalía como concepto base para enumerar y describir los daños que acaecen a los edificios, obedece a la idea de facilitar su análisis singularizado considerando de forma conjunta todos los factores que inciden en su diferenciación, ya sean de índole causal, de índole material o bien relacionados con sus condiciones de contexto físico o ambiental. Por otra parte, el ámbito temático abarcado en la presente publicación se limita a la edificación residencial existente, de unas características constructivas que pueden considerarse habituales en el sur de Europa, si bien este contexto geográfico puede ser más amplio para los edificios construidos con técnicas modernas a base de hormigón armado o acero, o incluso con muros de ladrillo cerámico o bloque de hormigón.

La consideración de la complejidad de factores que pueden actuar a la vez en cada una de las anomalías y la limitación de los edificios incluidos a los de uso residencial propios de una acotada área geográfica, ha permitido reducir a 63 el número de situaciones reales de las anomalías en los términos anteriormente definidos. Evidentemente, se trata de una cantidad limitada y asumible, teniendo presente que incluyen la mayor parte de daños que se pueden visualizar en los edificios considerados. En todo caso, la dificultad estriba en hallar una ordenación y clasificación que facilite la búsqueda particularizada de cada una de ellas, dada la multiplicidad de factores que se pueden integrar en una misma anomalía.

Asumiendo la insalvable dificultad apuntada, se ha optado por un orden y una clasificación que atiende al elemento constructivo con mayor relación con el daño descrito en la anomalía, reservando un apartado adicional a las anomalías relacionadas con la habitabilidad. Siguiendo este criterio, los apartados considerados son:

- ES1. Estructura: muros
- ES2. Estructura: de hormigón armado, metálica, de madera: pilares, jácenas, vigas, pórticos, dinteles
- ES3. Estructura: forjados, bóvedas
- ES4. Estructura: cimentación
- ES5. Estructura: edificio en su conjunto
- EX1. Envoltente exterior: contacto con el terreno
- EX2. Envoltente exterior: fachadas, cerramientos verticales
- EX3. Envoltente exterior: cubierta



- EX4. Envolvente exterior: edificio en su conjunto
- Pl. Otros elementos: pavimentos e instalaciones
- SH. Sostenibilidad y habitabilidad.

La relación completa y la denominación de las anomalías consideradas, así como su distribución en los anteriores apartados, se incluyen en el listado del apartado I.1. En dicho listado también se incluyen entre paréntesis, detrás de la denominación de algunas anomalías, los otros apartados relacionados con su concreta temática, si bien de forma menos directa que la del apartado en que se halla ubicada.

Por otra parte, con el fin de facilitar la localización de las anomalías en función del tema de consulta, en el apartado I.2 se han incluido las relaciones de conceptos que permiten su búsqueda a partir del material o elemento constructivo afectado, de la denominación del tipo de daño y de la causa o agente inductora del mismo.

I.1. Denominación y listado de las anomalías

ES1. Estructura: muros

Anomalía 1. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros gruesos

Anomalía 2. Abombamientos y desplomes progresivos en muros gruesos de fachada de edificios antiguos

Anomalía 3. Pérdida de cohesión de la arcilla en muros afectados por el agua

Anomalía 4. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros de ladrillo de media asta

ES2. Estructura: de hormigón armado, metálica o de madera

Anomalía 5. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en jácenas y pórticos de hormigón armado

Anomalía 6. Grietas debidas a las cargas verticales en ménsulas cortas de hormigón armado

Anomalía 7. Grietas en el hormigón y hormigón armado de formación anterior a su endurecimiento (ES3)

Anomalía 8. Grietas de retracción en el hormigón y hormigón armado endurecidos (ES3)

Anomalía 9. Corrosión de las armaduras de acero en elementos resistentes de hormigón armado (ES3)

Anomalía 10. Corrosión de elementos resistentes en estructuras metálicas de acero (ES3)



- Anomalía 11. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en pilares de piedra o ladrillo cerámico macizo
- Anomalía 12. Grietas debidas a las cargas verticales en dinteles de piedra o ladrillo
- Anomalía 13. Pudrición de pilares, vigas y viguetas de madera (ES3)
- Anomalía 14. Ataque de los insectos xilófagos en pilares, vigas y viguetas de madera (ES3)

ES3. Estructura: forjados, bóvedas

- Anomalía 15. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de viguetas de hormigón armado o pretensado
- Anomalía 16. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados reticulares y losas macizas de hormigón armado
- Anomalía 17. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de cerámica armada
- Anomalía 18. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en vigas y forjados con viguetas de madera
- Anomalía 19. Grietas y otros daños debidos a la flexión diferida de los forjados en tabiquerías y pavimentos
- Anomalía 20. Grietas en techos entre bovedillas y viguetas del forjado
- Anomalía 21. Presencia de cemento aluminoso en viguetas y nervios de hormigón armado o pretensado de los forjados
- Anomalía 22. Corrosión de las armaduras de acero en forjados de cerámica armada
- Anomalía 23. Rotura y desprendimiento de bovedillas en forjados de cerámica armada o de viguetas metálicas o de hormigón
- Anomalía 24. Corrosión de los elementos resistentes metálicos en balcones, porches y galerías abiertas (EX2)
- Anomalía 25. Grietas y deformaciones en bóvedas y arcos de piedra o ladrillo (ES4)
- Anomalía 26. Grietas en las bóvedas cerámicas de escaleras
- Anomalía 27. Deterioro de las losas de piedra de los balcones y otros elementos volados (EX2)



ES4. Estructura: cimentación

- Anomalía 28. Grietas por movimientos de la cimentación en muros, tabiques, techos y pavimentos (ES1, ES3)
- Anomalía 29. Grietas por movimientos de la cimentación en pilares y jácenas de las estructuras porticadas de hormigón armado (ES2)

ES5. Estructura: edificio en su conjunto

- Anomalía 30. Resistencia insuficiente de los edificios altos a la acción del viento (ES2)
- Anomalía 31. Grietas y colapsos debidos a las acciones dinámicas
- Anomalía 32. Grietas y deformaciones debidas a los movimientos de dilatación y contracción térmica en los edificios (ES2, EX2, EX3)

EX1. Envoltente exterior: contacto con el terreno

- Anomalía 33. Humedades debidas a la ascensión capilar del agua del terreno en muros de las plantas bajas y soleras
- Anomalía 34. Filtraciones de agua contenida en el terreno en muros de contención de sótanos
- Anomalía 35. Humedades e inundaciones en las cámaras sanitarias

EX2. Envoltente exterior: fachadas, cerramientos verticales

- Anomalía 36. Grietas y abombamientos en fachadas de ladrillo visto apoyadas parcialmente en los forjados
- Anomalía 37. Desprendimientos y grietas en los revestimientos continuos de cal o cemento portland de los cerramientos exteriores
- Anomalía 38. Grietas de retracción en los muros de albañilería con revestimiento continuo
- Anomalía 39. Desprendimiento de los recubrimientos de losetas cerámicas en las fachadas
- Anomalía 40. Desprendimiento de los recubrimientos de piedra natural o artificial en las fachadas
- Anomalía 41. Desprendimiento de los materiales de recubrimiento en los cantos de los forjados
- Anomalía 42. Grietas en las fachadas debidas al choque térmico
- Anomalía 43. Desprendimientos en barandillas, aleros y otros elementos de fachada



- Anomalía 44. Humedades de condensación en muros y techos de los recintos habitados (EX3)
- Anomalía 45. Filtraciones del agua de riego de las jardineras de obra cerámica incorporadas en las fachadas
- Anomalía 46. Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de ladrillo visto
- Anomalía 47. Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de hormigón visto
- Anomalía 48. Filtraciones de agua de lluvia por las juntas entre materiales, vierteaguas y encuentros de las carpinterías con la obra
- Anomalía 49. Formación de eflorescencias y criptoeflorescencias en las fachadas de ladrillo visto
- Anomalía 50. Erosión de los muros de piedra por los efectos de los agentes ambientales
- Anomalía 51. Acción de los agentes inductores de la suciedad en las fachadas

EX3. Envoltente exterior: cubierta

- Anomalía 52. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas planas
- Anomalía 53. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas inclinadas de teja
- Anomalía 54. Presencia de amianto en cubiertas y otros elementos de los edificios
- Anomalía 55. Deterioros en los elementos estructurales ubicados en los desvanes de las cubiertas inclinadas

EX4. Envoltente exterior: edificio en su conjunto

- Anomalía 56. Efectos de la expansión del agua helada sobre los materiales porosos (EX2, EX3)
- Anomalía 57. Deterioros debidos al crecimiento de las raíces de los árboles y las plantas (ES4, EX2, EX3)

PI. Otros elementos: pavimentos e instalaciones

- Anomalía 58. Grietas y abombamientos en pavimentos interiores de baldosas cerámicas
- Anomalía 59. Fugas en las instalaciones de suministro y evacuación de aguas



SH. Sostenibilidad y habitabilidad

- Anomalía 60. Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas tradicionales (EX4)
- Anomalía 61. Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas modernas (EX4)
- Anomalía 62. Carencia en el aislamiento acústico del ruido exterior (EX2)
- Anomalía 63. Carencia en el aislamiento acústico del ruido interior

I.2. Localización de las anomalías

con el fin de localizar con mayor facilidad las anomalías analizadas en función de los diversos materiales y elementos constructivos, los tipos de daño o las causas que las inducen, se facilita a continuación el desglose de la denominación de cada una de ellas siguiendo separadamente estos criterios.

I.2.1. Por el material o elemento constructivo afectado

	Anomalías
Acero	9, 10, 22
Alero	43
Amianto	54
Arcilla	3
Arco de ladrillo	25
Arco de piedra	25
Armadura de acero	9, 22
Balcón	24, 27
Barandilla	43
Bóveda cerámica de escalera	26
Bóveda de ladrillo	25
Bóveda de piedra	25
Bovedilla (de forjado)	20, 23
Cámara sanitaria	35
Canto de forjado	41
Cemento aluminoso	21
Cerramiento exterior (vertical)	37
Cubierta de teja	53
Cubierta inclinada	53, 54, 55
Cubierta plana	52
Desván	55
Dintel de ladrillo	12
Dintel de piedra	12
Edificio alto	30
Edificio antiguo	2
Edificio construido con técnicas tradicionales	60
Edificio moderno	61



Elemento estructural	55
Elemento metálico	24
Elemento volado (de fachada)	27
Elemento resistente de hormigón armado	9
Elemento resistente metálico	10, 24
Encuentros carpintería-obra	48
Estructura metálica de acero	10
Estructura porticada de hormigón armado	29
Fachada (sin especificar)	2, 39, 40, 42, 43, 45, 51
Fachada de hormigón visto	47
Fachada de ladrillo visto	36, 46, 49
Forjado, techo (sin especificar)	19, 20, 28, 36, 41, 44
Forjado de cerámica armada	17, 22, 23
Forjado de losa maciza de hormigón armado	16
Forjado de viguetas de madera	18
Forjado de viguetas de hormigón armado o pretensado	15, 21, 23
Forjado de viguetas metálicas	23
Forjado reticular de hormigón armado	16
Galería abierta	24
Hormigón, hormigón armado	5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 21, 23, 29, 47
Hormigón pretensado	16, 21
Instalaciones de suministro o evacuación de agua	59
Jácena de hormigón armado	5, 29
Jardineras de obra cerámica	45
Juntas entre materiales	48
Losa de piedra	27
Losa maciza de hormigón armado	16
Madera	13, 14, 18
Material poroso	56
Ménsula corta de hormigón armado	6
Muro (sin especificar)	3, 28, 33, 44
Muro de albañilería	38
Muro de contención de sótano	34
Muro de ladrillo de media asta	4
Muro de piedra	50
Muro grueso	1, 2
Pavimento (sin especificar)	19, 28
Pavimento interior de baldosas cerámicas	58
Pilar de hormigón armado	29
Pilar de ladrillo cerámico macizo	11
Pilar de madera	13, 14
Pilar de piedra	11
Planta baja	33
Porche	24
Pórtico de hormigón armado	5
Recinto habitado	44
Recubrimiento (sin especificar)	41
Recubrimiento de losetas cerámicas	39
Recubrimiento de piedra natural o artificial	40
Revestimiento continuo (sin especificar)	38
Revestimiento continuo de cal	37



Revestimiento continuo de cemento portland	37
Solera (de planta baja)	33
Tabiquería, tabique	19, 28
Techo, forjado, (sin especificar)	19, 20, 28, 36, 41, 44
Técnicas tradicionales	60
Vigueta (sin especificar)	20
Vigueta metálica	23
Viga de madera	13, 14, 18
Vigueta de madera	13, 14
Viguetas de hormigón armado	21
Viguetas de hormigón pretensado	21
Vierteaguas	48

I.2.2. Por el tipo de daño

Abombamiento	1, 2, 4, 11, 36, 58
Ataque de insectos xilófagos	14
Colapso	31
Corrosión	9, 10, 22, 24
Criptoflorescencias	49
Deformación	5, 15, 16, 17, 18, 25, 32
Desplome	2
Desprendimiento	23, 37, 39, 40, 41, 43
Deterioro	27, 55, 57
Erosión	50
Eflorescencias	49
Grieta	1, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 42, 58	
Humedad	33, 35, 44
Inundación	35
Pérdida de cohesión	3
Pudrición	13
Rotura	23
Suciedad	51

I.2.3. Por la causa inductora del daño

Acciones dinámicas (impacto, sismo)	31
Acción del viento	30
Agentes ambientales	50
Agua	3
Agua helada	56
Apoyo parcial en forjado	36
Ascensión capilar del agua contenida en el terreno	33
Carencia de aislamiento acústico	62, 63
Cargas verticales	1, 4, 5, 6, 11, 12, 15,
	16, 17, 18
Choque térmico	42
Condensación del vapor de agua	44

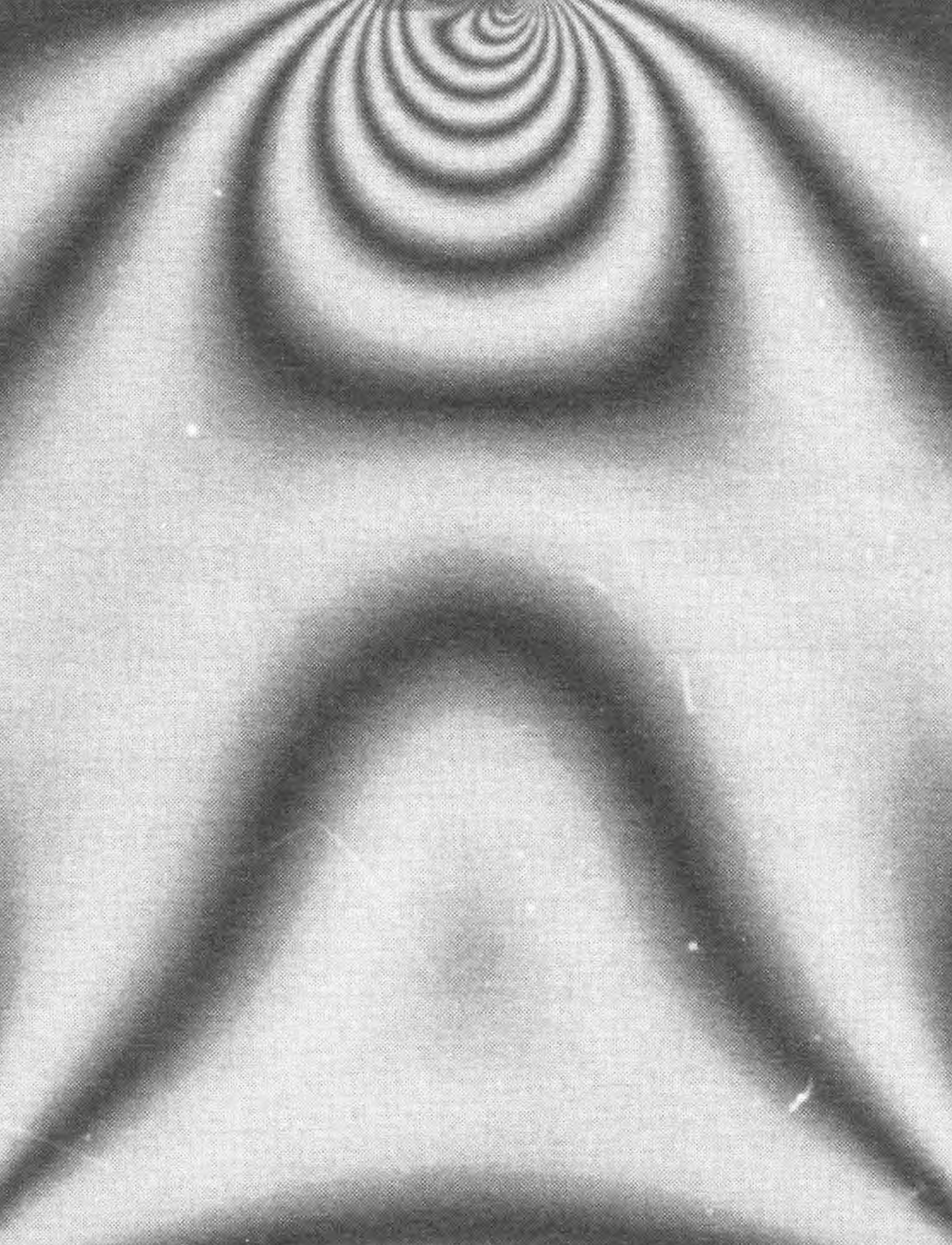


Contracción térmica	32
Crecimiento de las raíces de las plantas	57
Dilatación térmica	32
Endurecimiento (del hormigón)	7, 8
Excesiva demanda energética	60, 61
Expansión del agua helada	56
Filtraciones de agua de lluvia	46, 47, 48, 52, 53
Filtraciones de agua de riego	45
Filtraciones de agua del terreno	34
Flexión diferida (fluencia de los forjados)	19
Fuga de agua (escapes)	59
Insectos xilófagos	14
Movimientos de dilatación y contracción térmica	32
Movimientos de la cimentación	28, 29
Presencia de cemento aluminoso	21
Resistencia insuficiente	30
Retracción	8, 38
Ruido exterior	62
Ruido interior	63





II. Descripción de las causas de las anomalías y de las pautas de intervención





ES1. ESTRUCTURA MUROS

- Anomalía 1.** Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros gruesos
- Anomalía 2.** Abombamientos y desplomes progresivos en muros gruesos de fachada de edificios antiguos
- Anomalía 3.** Pérdida de cohesión de la arcilla en muros afectados por el agua
- Anomalía 4.** Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros de ladrillo de media asta

Anomalia 1

Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros gruesos

La denominación *de muro grueso* se asocia generalmente al muro que tiene un grosor superior a los 24 o 30 cm, tanto si es de ladrillo como de mampostería de piedra (ordinaria o concertada), tierra o adobe. Es decir, se asocia a muros de poca esbeltez, en comparación con los muros (también llamados **paredes**) de carga o de cerramiento de 12 o 14 cm aplicados de forma muy habitual a partir de la construcción de los ensanches urbanos de mediados del **xix** y durante el **siglo xx**.

Cuando el muro es homogéneo en toda su sección y está construido con alguno de los materiales anteriormente citados, su comportamiento mecánico sigue con suficiente aproximación las leyes elásticas de rotura para materiales rígidos. De esta forma, las grietas que puedan aparecer seguirán las direcciones de las tensiones principales de compresión y serán visibles en los paramentos del muro. En estos casos, cuando la carga vertical es de magnitud constante y el muro es ciego, la superación de la tensión de rotura se manifiesta por una o diversas grietas en dirección vertical localizadas en las zonas inferiores más solicitadas. Dichas grietas marcan en cada punto de su recorrido la dirección transversal a la máxima tensión de tracción en dicho punto. Si el muro tiene huecos, siguiendo la misma ley elástica, las fisuras pueden adoptar una forma parabólica junto a las jambas de los entrepaños de las ventanas o puertas (**fig. 1.1**). En muros de varias plantas, los esquemas de las líneas de fractura se superponen de forma idéntica en cada planta, aunque las tensiones se incrementen progresivamente a medida que descienden por el muro (**fig. 1.2**).

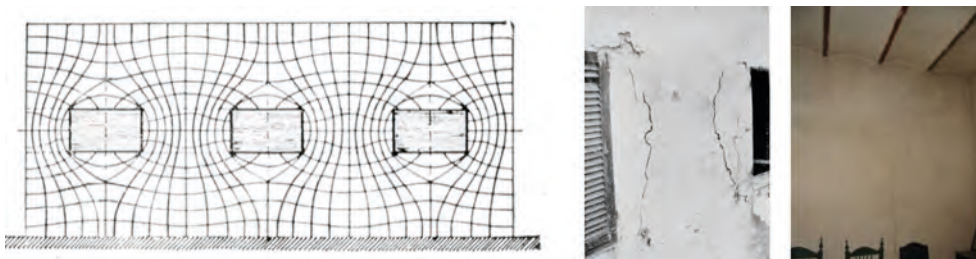


Fig. 1.1. Esquema de líneas isostáticas de un muro con huecos cargado homogéneamente, suponiendo un comportamiento equivalente al de un material rígido, homogéneo y elástico. En las fotos, roturas por exceso de compresión de muros gruesos en la planta baja, siguiendo las direcciones de las líneas isostáticas de compresión o líneas de fractura.



Ahora bien, cuando la sección del muro no es homogénea, de forma que en su zona central hay un material más deformable y menos cohesivo que en sus dos zonas laterales, al modo de un muro a la romana, o cuando las piezas perpiañas que conectan las zonas laterales son demasiado escasas (fig. 1.3), la manifestación de la fractura ante el exceso de carga suele ser una grieta vertical en la parte central del muro, que lo separa en dos mitades más esbeltas. Esta grieta no suele ser visible, si bien a veces es verificable algún abombamiento en los paramentos del muro o se forma una grieta horizontal coincidente en altura con la parte intermedia de la grieta vertical no visible.

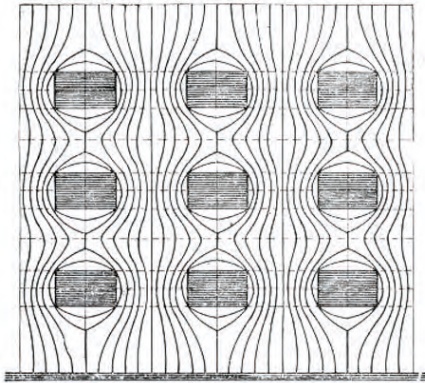


Fig. 1.2. Esquema de las líneas isostáticas de compresión en un edificio de varias plantas. En la foto, ejemplo de muro de ladrillo de 14 cm de grosor fisurado siguiendo también las direcciones del modelo de líneas isostáticas en un patio interior de ventilación de un edificio urbano.

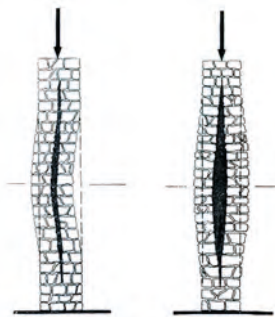


Fig. 1.3. Fractura interna típica de muros gruesos con escasa cohesión en la parte interna de su sección, lo cual es propio de muchos muros de piedra con mampostería no concertada.

Cuando la carga que recibe el muro es puntual, como en el caso de una viga, suelen marcarse dos grietas a 45° que se inician justo en las aristas inferiores de la viga, descendiendo a 45° por el paramento vertical hasta el nivel en que la tensión en el muro ya no supera su tensión de rotura (fig. 1.4). A veces, ante esta sollicitación, el muro marca una sola grieta vertical debajo de la viga.

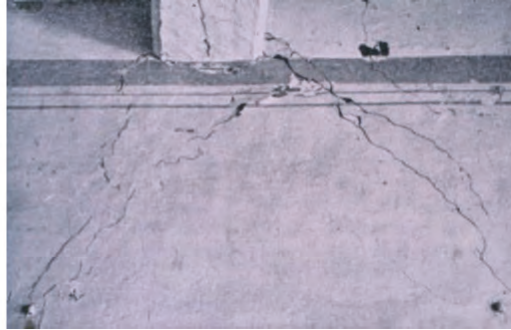
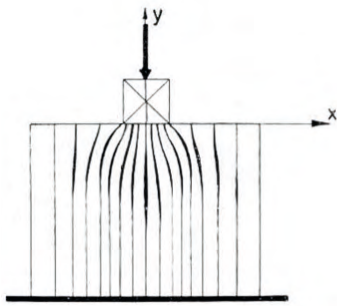


Fig. 1.4. Esquema de líneas isostáticas de compresión de un muro sometido a la carga puntual de una viga. En la foto, rotura del muro por la vigueta que lo sobrecarga marcando dos grietas a 45°.

Otra posible forma de fractura se encuentra en los muros que presentan en su grosor pilastras de un material más rígido, como es el caso de los muros de tierra ubicados entre pilastras de ladrillo o de muros de piedra formados por mamposterías con aparejos diferentes. En estas situaciones, las tensiones de corte originadas por la mayor deformabilidad del material o elemento menos rígido originan familias de grietas a 45° a partir de los puntos salientes del material o elemento más rígido (fig. 1.5).



Fig. 1.5. Familias de grietas debidas al cambio de rigidez de los materiales del muro entrelazados. Se marcan a partir de las esquinas superiores del material más rígido, mostrando el descenso del menos rígido.

Con independencia de las características de la sección del muro, puede darse el caso que en fases anteriores a la manifestación de las formas de rotura expuestas, se presente un primer síntoma del exceso de compresión que experimenta a través del aplastamiento de las juntas horizontales de mortero y su consecuente desmenuzamiento, seguido de la aparición de las fisuras verticales ya comentadas, que coinciden preferentemente con las alineaciones de las juntas verticales de la mampostería (fig. 1.6).

Los encuentros entre muros transversales suelen ser lugares de formación de grietas coincidentes con la arista vertical del lugar del encuentro (fig. 1.6). Generalmente, estas lesiones son debidas a las tensiones generadas por la diferencia de deformabilidad entre el muro que soporta la carga de los forjados o la cubierta y el muro o tabique no cargado. En estos casos, se requiere evaluar las consecuencias mecánicas de la eliminación de la unión sobre las condiciones de arriostramiento del edificio y la estabilidad a vuelco de los muros o tabiques desconectados.

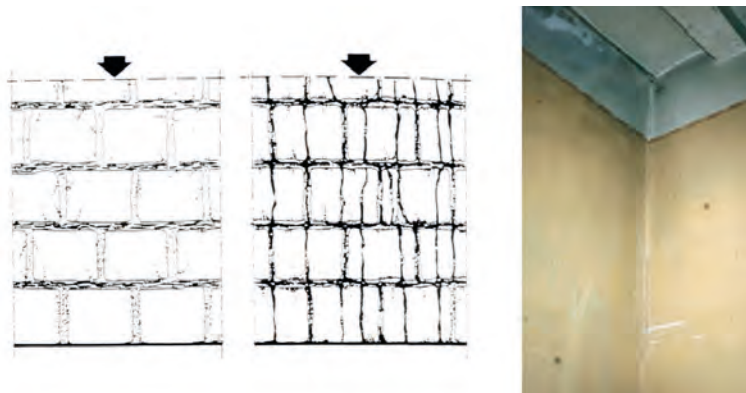


Fig. 1.6. El gráfico de la izquierda esquematiza los daños por aplastamiento en las juntas de mortero horizontales, que se presentan en algunos muros en una fase previa a las grietas verticales típicas de los elementos con comportamiento elástico. En la foto, rotura del encuentro entre paredes transversales originada por la diferencia de cargas que reciben de los forjados.

Pautas para la intervención

La solución dependerá de las causas que generen las lesiones, en tanto que pueden derivar de deficiencias mecánicas originales o surgidas por aumentos de sobrecarga posteriores, o bien de procesos de degradación de los materiales constituyentes (alteraciones en las juntas de mortero, humedades, etc.). La elección concreta del método de refuerzo a aplicar también dependerá de su incidencia sobre la superficie de los espacios ocupados por los elementos del refuerzo y de la factibilidad de su apariencia y visibilidad permanente.

Entre las formas de intervención a aplicar, se puede establecer una gran subdivisión entre las que solo se plantean restituir la resistencia del muro afectado por el daño y las que pueden también cumplir, si es preciso, una función de refuerzo o aumento de resistencia del muro originario antes de su lesión.

Entre las que se plantean solo restituir la resistencia o prestaciones iniciales, las más utilizadas son:

- Los grapajes, con disposición de armaduras metálicas que cosen las fisuras, aplicable cuando las grietas son pasivas, una vez subsanada o desaparecida la causa del daño (fig. 1.7). Pueden disponer de patilla en sus extremos o ser barras rectas embebidas en mortero adhesivo.
- Las infusiones de productos cementicios o rejuntados que colmatan las juntas alteradas y los vacíos internos del muro. Para este mismo objetivo pueden usarse las inyecciones, utilizadas cuando se requiere mayor presión para penetrar el producto o para colmatar las fisuras.
- Los zunchados, con la función de reducir la esbeltez del muro o aumentar la rigidez global del edificio. También se aplican junto con los atirantados con el fin de frenar las pérdidas progresivas de sección útil que generan los lentos movimientos reológicos de abombamiento o de desplome, tratados en la [Anomalía 2](#).

- La sustitución física de las zonas de muro afectadas por el daño con material cuanto menos de la misma capacidad resistente, procurando un buen contacto entre el material existente y el incorporado. A veces, la sustitución se realiza de forma discontinua (**cosido y descosido**).



Fig. 1.7. Formas de disposición de las grapas para recuperar la continuidad de elementos murarios agrietados por causas diversas, no necesariamente asociadas a las cargas verticales.

Entre las que pueden adicionalmente aumentar la resistencia del muro, se hallan las siguientes:

- Las **taxidermias**, que consisten en introducir armaduras metálicas o de fibras de vidrio o carbono en la sección del muro formando una retícula resistente, utilizando para ello herramientas rotacionales adecuadas.
- La sustitución funcional del muro lesionado o con capacidad resistente insuficiente por nuevos elementos que sustituyan su función resistente. Los nuevos elementos suelen ser muros de albañilería adosados al existente o estructuras porticadas formadas por pilares y jácenas metálicas en análoga situación.
- Los regresados del muro lesionado o con capacidad resistente insuficiente, mediante el aumento de su sección, procurando un trabajo conjunto. Para ello se utiliza la clásica solución de hormigón proyectado sobre mallazos metálicos conectados al muro o a base de morteros de alta resistencia y mallas de fibra de vidrio o fibra de carbono, esta última de menor grosor (fig. 1.8).



Fig. 1.8. Formas de regresado de muros mediante mallazos metálicos o de fibras posicionados por uno o dos paramentos.



Complemento bibliográfico

CASANOVAS, X. (1995). "Tècniques d'intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega". *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (Parte III, cap. 12).

DI STEFANO, R. (1990). "Consolidamentodelle strutture murarie". *In consolidamento strutturale nel restauro architettonico*. Edizioni Scientifiche Italiana (cap. V, pp. 187-222).

DÍAZ, C. (1995). "Parets de càrrega: Possibles disfuncions estructurals. Simptomatologia". *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 4, pp. 33-40).

DÍAZ, C. (2007). "Lesiones estructurales en los edificios de la arquitectura tradicional mediterránea". *Método Rehabimed, arquitectura tradicional mediterránea* (Parte 2, Herramienta 5, pp. 195-206).

DÍAZ, C. (2007). "La rehabilitación de los elementos estructurales de la arquitectura tradicional mediterránea". *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea* (Parte 2, Herramienta 8, pp. 297-307).

MASTRODICASA, S. (1978). "Cedimento delle strutture murarie". *Dissesti Statici delle Strutture Edilizie*. Hoepli Ed (Parte Terza, cap. XV a XVIII, pp. 218-263).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). "Strutture verticali, Murature". *Manuale del consolidamento*, Tipografia del Genio Civile, Roma (Parte Seconda B1; Strutture verticali, Murature, pp. 44-69).

Anomalia 2

Abombamientos y desplomes progresivos en muros gruesos de fachada de edificios antiguos

Las fachadas de los edificios antiguos, formadas por muros gruesos no arriostrados por los forjados, suelen experimentar con los años un movimiento reológico, lento, que induce a la formación de abombamientos en la parte central o en el tercio inferior de su altura, o bien un movimiento de pérdida progresiva de la verticalidad, inclinándose lentamente hacia la calle. En estos movimientos pueden intervenir varios factores: en el caso de los abombamientos, la propia compresibilidad de las fábricas debida especialmente a la del mortero de las juntas, o la excentricidad de las cargas, originada o acrecentada por su propia heterogeneidad, son las causas inductoras a menudo de este movimiento. En el caso del desplome de la totalidad del muro, el giro de su cimiento a causa de la humectación del terreno en contacto por su parte exterior, un factible empuje inducido desde los elementos de la cubierta o la trepidación debida al tráfico rodado pueden sumarse a los agentes anteriores o ser los determinantes exclusivos del movimiento (fig. 2.1, fig. 2.2).

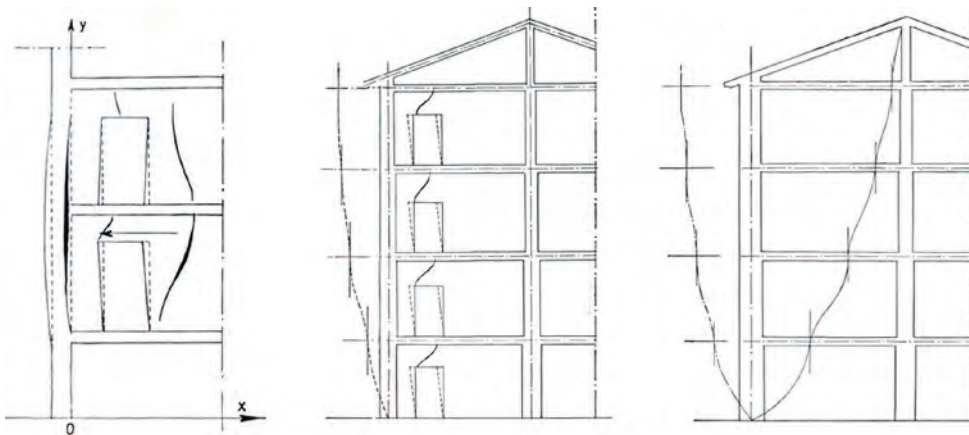


Fig. 2.1. Esquemas de fisuración resultantes de los movimientos reológicos de las fachadas en los muros transversales y en la junta de unión entre ambos.

Estos movimientos suelen ser muy lentos y se muestran a través de cuadros fisurativos que pueden involucrar a las paredes transversales en contacto, o con la simple grieta de separación de la fachada con las pareces y los forjados con los que conecta. Su visualización requiere su reparación o un seguimiento más o menos intenso en función de su anchura y progreso.



Fig. 2.2. Ejemplos de las grietas formadas entre el muro de fachada y el de medianería, o en la propia medianería o muros transversales como consecuencia de las tracciones generadas por el abombamiento progresivo del muro de fachada.

Pautas para la intervención

Las soluciones que suelen emprenderse en estos casos son las que tienen por función impedir el futuro movimiento transversal, mediante contrafuertes anclados en el terreno (fig. 2.3) o de tirantes anclados a un muro paralelo considerado capaz de contrarrestar la tracción originada por la tendencia a la progresividad del movimiento (fig. 2.4). La disposición de un perfil metálico horizontal colocado a la altura de la parte más saliente del muro se plantea a menudo como la solución más efectiva, ya sea como recurso provisional, a modo de contrafuerte con sopandas en la fachada opuesta, o como refuerzo definitivo, a modo de anclaje unificado de los atirantamientos transversales en el propio edificio (fig. 2.5). Cuando el origen del movimiento proviene de la cimentación, la actuación requerirá de recalce, o la eliminación del agua en contacto con el terreno mediante drenajes o métodos de análoga función.



Fig. 2.3. En la foto de la izquierda, apuntalamiento provisional del muro a base de pie derecho y sopanda conectada a la fachada opuesta. En la foto del centro, pies derechos empotrados en el terreno a modo de contrafuertes definitivos. En la foto de la derecha, la misma solución utilizada como soporte de un muro de contención urbano.



Fig. 2.4. Ejemplos de atirantamiento de muros exteriores de fachada. Obsérvese las placas de anclaje situadas en la zona más saliente del muro.



Fig. 2.5. Ejemplos de disposición de perfil metálico a modo de anclaje conjunto de los atirantamientos transversales. En el edificio de la foto de la izquierda, la solución se plantea como medida provisional preventiva; en el de la derecha, como solución definitiva.

Complemento bibliográfico

DÍAZ, C. (1995). "Parets de càrrega: Possibles disfuncions estructurals. Simptomatologia". *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 4, pp. 33-40).

DÍAZ, C. (2007). "Lesiones estructurales en los edificios de la arquitectura tradicional mediterránea". *Método Rehabimed, arquitectura tradicional mediterránea* (Parte 2, Herramienta 5, pp. 195-206).

DÍAZ, C. (2007). "La rehabilitación de los elementos estructurales de la arquitectura tradicional mediterránea". *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea* (Parte 2, Herramienta 8, pp. 297-307).

MASTRODICASA, S. (1978). "La rotazione nei muri perimetrali di fabbrica". *Dissesti Statici delle Strutture Edilizie*. Hoepli ed. (pp. 268-283).



Anomalia 3

Pérdida de cohesión de la arcilla en muros afectados por el agua

La presencia prolongada de agua o la repetición de ciclos de humectación y secado en los muros de tierra provocan que la arcilla pierda cohesión y, progresivamente, disminuya sus capacidades mecánicas hasta el punto de que, al cabo de un tiempo, generalmente prolongado, puede conducir al desmoronamiento del elemento (fig. 3.1, fig. 3.2). Esta situación se presenta, en la mayor parte de los casos, a causa de la humedad contenida en el terreno, la cual asciende por capilaridad en el muro cuando no hay una previsión destinada a evitar sus efectos. Los arranques del muro con mampostería tomada con mortero de cal presentes en algunos muros de tierra tienen esta finalidad. Cuando el agua queda retenida en alguna zona más elevada del muro, coincidiendo por ejemplo con alguna cubierta de los edificios limítrofes, el efecto puede ser similar al descrito (fig. 3.2). La desprotección del material por la carencia de un revestimiento exterior o de un alero que evite el efecto de la acción del agua sobre la tierra, conlleva procesos de lenta erosión superficial con efectos que pueden llegar a ser importantes a largo plazo.

Las juntas de los muros de piedra de mampostería no concertada presentan problemas similares con la presencia de agua cuando están formadas por morteros pobres en conglomerante en relación con la cantidad de arcilla que contienen.



Fig. 3.1. En la foto de la izquierda, tramo de muro de tierra dando frente al viento canalizado por un callejón, con los síntomas del desgaste originados por los constantes ciclos de secado y desecado a que se halla sometido. En la foto del centro, acción protectora del alero en la parte superior del muro frente al desgaste ocasionado por la lluvia y el viento. En la foto derecha, debilitamiento de un muro de mampostería prácticamente sin material en el revestimiento y con un alto contenido de arcilla en las juntas de su parte inferior, fuertemente afectadas por el agua de ascensión capilar del terreno.

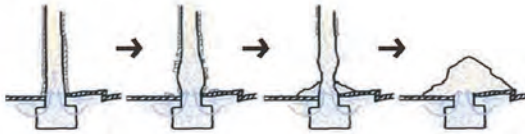


Fig. 3.2. Representación esquemática del proceso de desgaste de un muro de tierra afectado por la ascensión capilar del agua del terreno. En la fotografía, muro colapsado en su parte delantera coincidente con la parte saliente de la medianera, desprotegida de la acción del agua y sin conservación.

Pautas para la intervención

En muros de tierra afectados por la capilaridad, la sustitución de la tierra afectada por la humedad por un hormigón pobre o por ladrillo tomado con mortero de cal suelen ser las soluciones más habituales. En muros de mampostería de piedra, el rejuntado con mortero de cal introducido por infusión o vertido, previo sellado externo de las juntas, resulta uno de los métodos más apropiados para conseguir su completa colmatación. Cuando el problema provenga de la erosión superficial, puede ser aconsejable u obligada la disposición de un revoco protector transpirable con previa aplicación de un producto consolidante, o de un doblaje exterior que evite su contacto directo del agua.

Si el muro conserva suficiente capacidad resistente pero se requiere impedir los efectos futuros de la ascensión capilar del agua del terreno, puede optarse por algunas de las soluciones de intervención expuestas en la [Anomalía 33](#).

Complemento bibliográfico

AA. VV. (2017). *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en arquitectura de tierra*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España.

MARTÍN, B. (2014). "Metodología y productos para la conservación de los muros de tapia". *La restauración de muros de tierra en la península ibérica*. Argumentum Ediciones, TC Cuadernos General de Ediciones, (IV parte, pp. 316-327).

MILETO, C., VEGAS, F. (2014). "Criterios, técnicas, resultados y perspectivas para la restauración de la tapia en la península ibérica". *La restauración de muros de tierra en la península ibérica*. Argumentum Ediciones, TC Cuadernos General de Ediciones (V parte, pp. 328-336).



Anomalía 4

Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros de ladrillo de media asta

Las paredes de carga de media asta suelen tener un grosor comprendido entre los 12 y los 14 cm y suelen estar construidas con ladrillo macizo, perforado (también llamado **gero**) o hueco (también llamado **tochana**). Los esquemas de fisuración por exceso de cargas pueden coincidir con los de los muros homogéneos de mayor grosor no afectados por los efectos del pandeo, marcando grietas verticales o inclinadas en los paramentos de las zonas más cargadas. Sin embargo, en muros de ladrillo hueco, puede darse que la canónica fisura en dirección vertical de los muros ciegos se forme en el interior de la sección del elemento, ocultándose el daño hasta que el muro se rompe bruscamente por aplastamiento de las piezas de una de las hiladas horizontales intermedias (fig. 4.1, 4-2), generando, con ello, el colapso total o parcial del muro.

En los procesos habituales de inspección visual, estas lesiones no suelen ser visibles. Es preciso considerar en cada caso, en el grado que se considere necesario, las condiciones de carga a que se halla sometido el muro (número de plantas, luz total de los forjados que soporta, disposición de aberturas, etc.) y las condiciones de arriostramiento que posee, revisando las zonas que reciben mayor carga.



Fig. 4.1. Muro portante de ladrillo hueco de 14 cm de espesor roto bruscamente. En la cala de la foto de la derecha se percibe el aplastamiento de las piezas cerámicas de la hilada intermedia y la rotura vertical central.

Si bien poco frecuente en la edificación residencial habitual, otra forma posible de respuesta al exceso de compresión de estos muros es el abombamiento por pandeo global del muro y rotura de este sin previo aviso. En la fig. 4.3 se visualiza este tipo de anomalía en una muestra de pared ensayada en laboratorio y en un edificio del casco antiguo de Génova.



Fig. 4.2. Probetas del muro colapsado de la fig. 4 -1 en las que se percibe el proceso de fractura acaecido.



Fig. 4.3. En la foto de la izquierda, colapso por pandeo general de un muro de media asta de 12 cm de grosor sometido a compresión, ensayado en laboratorio. En la foto de la derecha, estado de un muro después del colapso por exceso de compresión en un edificio del casco antiguo de Génova.

Pautas para la intervención

En estos casos, la actuación irá dirigida al refuerzo mecánico y estructural del muro o de las plantas o tramos del edificio afectados que así lo requieran, por hallarse en situación de insuficiencia para soportar las cargas consideradas. Será preciso, por tanto, el recálculo de la estructura del edificio y, en función de los resultados, decidir el alcance del refuerzo aplicando algunos de los métodos ya comentados de sustitución funcional o refuerzo ([Anomalía 1](#)). A dichos métodos pueden sumarse algunas aplicaciones singularmente adaptadas a grosores escasos de muros, tales como la adición de pilastras o de perfilera metálica junto a los paramentos del muro o de cualquier elemento que tienda a reducir su esbeltez o deformabilidad en sentido longitudinal o transversal ([fig. 4.4](#)). Suele ser necesaria la adopción de medidas cautelares de apuntalamiento, desalajo o limitación de cargas cuando se descubren los síntomas de la anomalía.



Fig. 4.4. En la foto de la izquierda, disposición de perfiles metálicos a modo de contrafuertes de los muros transversales a las fachadas con los que conectan. En el gráfico de la derecha, disposición de perfilera metálica de refuerzo por los dos paramentos del muro, interconectados a través de su sección.

Complemento bibliográfico

CASSINELLO, M. (1964). *Muros de carga de fábrica de ladrillo*. Monografía Instituto Eduardo Torroja núm. 238.

DÍAZ, C. (1995). "Parets de càrrega: Possibles disfuncions estructurals. Simptomatologia". *Manual de diagnosi i intervenció en sistemes estructurals de parets de càrrega*. Col·legi d'Arquitectes i Enginyers Tècnics de Barcelona (cap. 4, pp. 33-40).

DÍAZ, C. (2002). "La inspección de los elementos estructurales". *Inspección y diagnosis*. Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, COAC (cap. 2).





ES2. Estructura: de hormigón armado, metálica o de madera

- Anomalía 5** Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en jácenas y pórticos de hormigón armado
- Anomalía 6** Grietas debidas a las cargas verticales en ménsulas cortas de hormigón armado
- Anomalía 7** Grietas en el hormigón y hormigón armado de formación anterior a su endurecimiento
- Anomalía 8** Grietas de retracción en el hormigón y hormigón armado endurecidos
- Anomalía 9** Corrosión de las armaduras de acero en elementos resistentes de hormigón armado
- Anomalía 10** Corrosión de elementos resistentes en estructuras metálicas de acero
- Anomalía 11** Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en pilares de piedra o ladrillo cerámico macizo
- Anomalía 12** Grietas debidas a las cargas verticales en dinteles de piedra o ladrillo
- Anomalía 13** Pudrición de pilares, vigas y viguetas de madera
- Anomalía 14** Ataque de los insectos xilófagos en pilares, vigas y viguetas de madera



Anomalia 5

Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en jácenas y pórticos de hormigón armado

La localización de los daños debidos a exceso de cargas verticales predominantemente repartidas en las jácenas apoyadas de hormigón armado o que forman pórticos con nudos rígidos de dicho material, puede deducirse a partir de los gráficos de las leyes de esfuerzos para los momentos y los esfuerzos cortantes. En general, puede establecerse que las grietas que aparecen en las zonas más traccionadas del hormigón solo inciden, como todas las grietas en dicho material, sobre la desprotección de las armaduras frente a la corrosión, siempre y cuando superen anchuras preestablecidas que dependen del medio ambiente en que se hallen. En cambio, los daños en zonas con predominio de los esfuerzos cortante o a excesos de compresión inciden en mayor o menor grado sobre la seguridad de los elementos estructurales en que se hallen.

Las vigas apoyadas no son frecuentes en la edificación actual, con la única y relativa excepción de algunas jácenas, a modo de dinteles incorporados en obra de fábrica con escaso grado de empotramiento en sus apoyos. Sus formas de fisuración siguen alguno de los esquemas de la [fig. 5.1](#). Las grietas en la parte central del vano, en la zona más traccionada, con inicio de su recorrido en el paramento inferior de la viga, son debidas a un exceso de sollicitación a momento flector, mientras que las grietas inclinadas a unos 45° son debidas a las tensiones de corte. Se presentan casos en que ambas tensiones inciden de forma conjunta en su formación, siguiendo entonces recorridos similares a los esquemas de líneas isostáticas de un material homogéneo ([fig. 5.2](#)). Pueden presentarse situaciones en que el fallo se presente por exceso de tensión de compresión en el hormigón en la parte superior de la viga, cuando el elemento se halle muy armado a momentos positivos y el hormigón sea de baja resistencia, o cuando los estados de fisuración anteriores induzcan a concentraciones de tensión en las zonas comprimidas de la viga ([fig. 5.3](#)).

En el gráfico de la [fig. 5.2](#) puede observarse, en línea continua, la familia de líneas isostáticas que muestran las direcciones preferentes de las grietas en caso de superarse la tensión de rotura a tracción del hormigón en alguno de sus puntos, cuando la pieza está sometida a cargas verticales repartidas. La [fig. 5.3](#) muestra la localización preferente de las grietas en análoga situación de carga en función de la cuantía de acero de la pieza.

En los **pórticos de pilares y jácenas** de hormigón armado unidos por nudos rígidos, que son los más habituales en la edificación actual, los esquemas de fisuración



son análogos en gran medida con los anteriores, con la sola diferencia que en los tramos de momento negativo coincidentes con las coincidentes y próximas a los apoyos, las zonas traccionadas son las superiores, formándose allí las grietas por la deformación de giro. Los esquemas de fisuración con predominio del esfuerzo cortante son también equivalentes al de las jácenas apoyadas (fig. 5.4).

Los esquemas de fisuración y daño de los tramos de las jácenas en voladizo, tanto si forman parte de una viga continua como de un pórtico con nudos rígidos, inician generalmente su formación en la zona superior de la pieza próxima al apoyo o empotramiento, lugar del momento flector y de esfuerzo de corte máximos, siguiendo el recorrido de las líneas de fractura del modelo elástico (fig. 5.2, foto derecha).

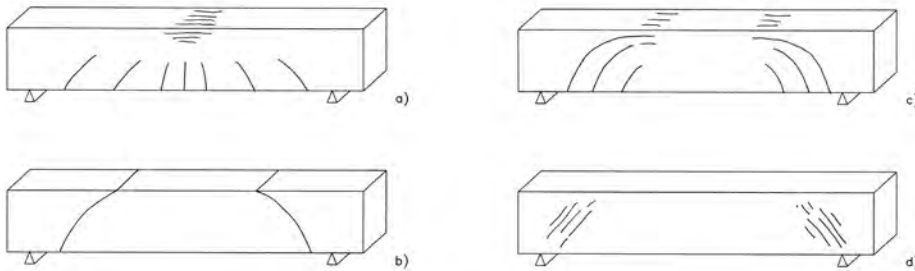


Fig. 5.1. Formas que adoptan las grietas en una viga de hormigón armado apoyada en sus extremos, sometida a cargas verticales repartidas.



Fig. 5.2. En el gráfico, líneas isostáticas de compresión (trazo continuo) y tracción (trazo discontinuo) en una viga apoyada sometida a cargas verticales repartidas. En las fotos, roturas experimentales de viga cargada en el centro y de viga en voladizo respectivamente. Obsérvese las grietas a tracción inferiores y los signos de la compresión en el tramo superior en la viga apoyada y las grietas en la parte superior, próximas o coincidiendo con el apoyo, en la viga en voladizo.

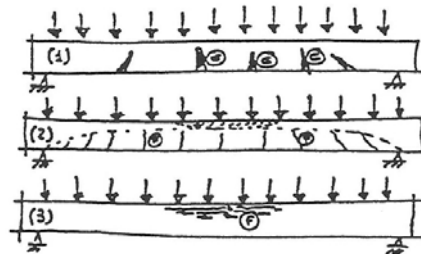


Fig. 5.3. Localización probable de las grietas en función de la cuantía de armadura inferior para absorber el momento positivo. Arriba, grietas debidas a la baja cuantía de dicha armadura. En el centro, cuantía alta: se marcan grietas en la parte inferior y se insinúa el exceso de compresión en la zona central superior de la pieza. Abajo, cuantía muy alta: solo se forman grietas por exceso de compresión en la zona central superior de la viga.

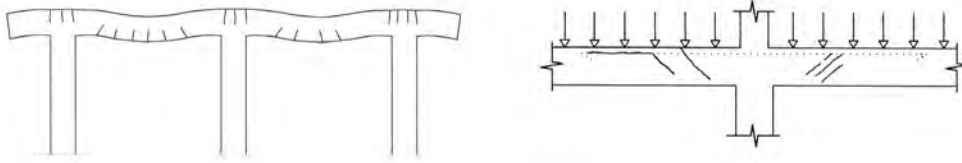


Fig. 5.4. Esquemas de fisuración originados por el momento flector (izquierda) y por el cortante (derecha) en un pórtico de nudos rígidos, sometido a cargas verticales repartidas.



Fig. 5.5. Efecto de las tensiones de corte originadas por la carga puntual transmitida por el brochal en un pórtico de hormigón armado con nudos rígidos.

Cuando el agente causante de las lesiones es una carga puntual aplicada en la jácena, como es el caso de las vigas que reciben la carga de un brochal, las grietas suelen marcar el efecto del incremento del esfuerzo cortante en la proximidad de la aplicación de la carga (fig. 5.5), y dicho efecto predomina sobre los efectos de la flexión en función del canto de la jácena que recibe el brochal y de las cuantías relativas de armadura.

Por lo que se refiere a las **jácenas planas**, es decir, cuando el grosor de la jácena coincide con la del forjado, los esquemas de fisuración son coincidentes con los de las jácenas de canto, con el inconveniente práctico que solo son visibles los daños en el ancho inferior de la jácena, salvo en los casos, no muy frecuentes, que lo sean también por la parte superior, según sea el material del pavimento. Cabe añadir que son más propensas a experimentar mayores deformaciones de flexión que las jácenas de canto, y, por ello, a tener mayor propensión a presentar grietas en el centro de su cara inferior; y aunque habitualmente no son visibles, en los extremos de su cara superior. Por otra parte, son más notables en este tipo de jácenas los efectos de la fluencia plástica del hormigón sobre el incremento de deformación de flexión del elemento en los primeros años posteriores a su puesta en obra; con ello aumenta la probabilidad de presencia de grietas.

Las formas de percepción de las anomalías en los pilares de hormigón armado sometidos a cargas verticales pueden visualizarse en la fig. 5.6. En pilares de 2,5 a 3,5 m de altura son más habituales la grieta o familia de grietas verticales en el centro de la pieza; por tanto, siguen la ley de las líneas de fractura de los materiales rígidos elásticos sometidos a esfuerzos de compresión. Este esquema puede presentarse en todas las caras del pilar cuando la carga es centrada. Cuando es excéntrica, esta fractura se presenta en la cara más comprimida, y en la cara opuesta se visualizan grietas horizontales. También pueden romper, si bien no es tan habitual, a 45° cuando el esfuerzo crítico es el cortante. La familia de grietas verticales cortas próximas a la cabeza del pilar constituye una forma de fractura típica, que está originada por el movimiento descendente de los cercos superiores en el proceso de vertido del hormigón (fig.5-6).

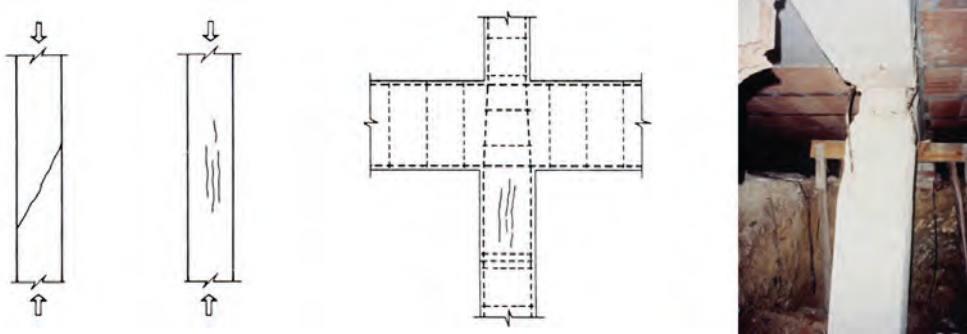


Fig. 5.6. Formas de fractura típicas de los pilares de hormigón armado. La más habitual es la que forma una familia de grietas verticales. El caso específico del gráfico y la foto de la derecha suele presentarse poco tiempo después de su puesta en obra, cuando el vertido del hormigón arrastra los cercos superiores del pilar.

En general, para todas las situaciones expuestas, las piezas armadas con armaduras de diámetro grande suelen concentrar el daño en menos grietas de mayor grosor, mientras que las que están armadas con mayor número de armaduras de menor diámetro, aunque con la misma cuantía que las anteriores, suelen presentar los daños con mayor número de grietas de menor anchura. Es preciso considerar también que, a veces, para interpretar correctamente la causa de los daños hay que tener presente y conocer los posibles defectos en la disposición del ferrallado, tales como, por ejemplo, las insuficiencias en la longitud de los solapes o los solapes en lugares inadecuados, la armaduras caídas en zonas de negativos o las longitudes de anclaje demasiado cortas.

Pautas para la intervención

La fibra de carbono es el material más usado en la actualidad para reforzar elementos de hormigón armado cuando la causa de los daños es el infradimensionado de la armadura. Puede usarse en forma de bandas o de tejido. Generalmente se aplica en forma de bandas para el refuerzo de las zonas traccionadas, y en forma de tejido para el refuerzo de las zonas sobresolicitadas a esfuerzos de corte o para confinar los pilares, aunque en estos dos últimos casos también puede aplicarse en forma de bandas (fig. 5.7). Las aplicaciones de este material han sustituido a los clásicos refuerzos con perfiles, pletinas y platabandas metálicas usados anteriormente. Sin embargo, cuando la problemática detectada surge como consecuencia de una excesiva deformación de la pieza, sin constatare en ella fallos en el cálculo de los esfuerzos, se requieren soluciones de refuerzo que aumenten la inercia mecánica de las vigas, lo cual se consigue habitualmente con la incorporación de perfiles metálicos por su parte inferior (fig. 5.8). Las deformaciones que superan el 1/250 de la luz del vano requieren generalmente de este tipo de refuerzo.

Para el refuerzo de pilares cada vez se usan con mayor frecuencia los zunchados con fibra de carbono, aunque todavía siguen aplicándose los clásicos empresillados metálicos y los recrecidos con hormigón armado (fig. 5.9). La elección dependerá en cada caso de factores de ocupación de espacio, acabado y costo. Para las actuaciones de refuerzo global del conjunto de elementos estructurales en un mismo edificio, la fibra de carbono suele ser el material elegido. La protección



contra el fuego es también un factor a considerar en la elección de la modalidad de refuerzo.



Fig. 5.7. Soluciones de refuerzo de una viga y de un nudo de una estructura porticada de hormigón armado, utilizando bandas de fibra de carbono (foto izquierda) o tejido de fibra de carbono (fotos central y derecha).



Fig. 5.8. Disposición de perfiles metálicos en H por debajo de las jácenas planas objeto de refuerzo por insuficiencia de inercia. El retacado se efectúa con mortero inyectado.

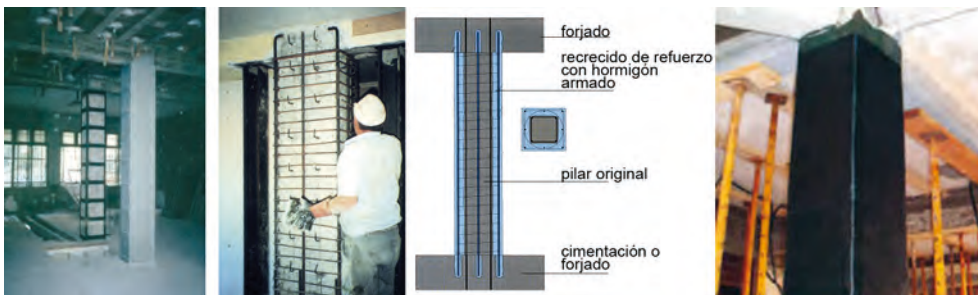


Fig. 5.9. En la foto de la izquierda, refuerzo de pilar con empresillado metálico. En las dos fotos centrales, refuerzos mediante reguesados con hormigón armado. La foto de la derecha muestra el refuerzo usando fibra de carbono para conformar el zunchado del pilar.



Complemento bibliográfico

AA. VV. (2000). *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (Partes II.3, pp. 27-48; III.13, pp. 127-132; III.15, pp.141-153).

AA. VV. (2003). *Manual de rehabilitació de estructures de hormigón*. Red Temática REHABILITAR, CYTED (cap. 3, pp. 161-213; cap. 8, pp. 379-444).

AA. VV. (2010). "Sistemas de intervenció". *Guía de intervenció en estructures de hormigón en edificios existentes*. Generalitat Valenciana (pp. 68-251).

BAQUER, J. et al. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructures de hormigón*. Institut d'Estudis Estructurals, Barcelona (pp. 15-95)

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de pilares" y "Técnicas de refuerzo de vigas". *Rehabilitar con acero*. Publicaciones APTA (cap. 5 y 6, pp. 207-337).

CALAVERA, J. (1996). *Patología de estructures de hormigón armado y pretensado*. INTEMAC, Madrid (cap. 3, pp. 29-97; cap. 5, 6, 7, 8, pp. 135-225).

GONZÁLEZ VALLE, E. (1984). "Estructuras de hormigón armado: refuerzo mediante hormigón y estructura metálica". *Curso de Rehabilitación*, 5. La Estructura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (pp. 173-189).

MAS-GUINDAL, A. (1998). "Reparación de estructures de hormigón. Problemas. Soluciones". *La reparación de la estructura*. Fundación Cultural COAM, Madrid (cap. 7, pp. 87-98).

Anomalia 6

Grietas debidas a las cargas verticales en ménsulas cortas de hormigón armado

El comportamiento mecánico de las ménsulas cortas presenta algunas características ciertamente singulares puesto que, debido a su especial geometría, no sigue la ley de conservación de secciones planas en la fase de carga. Esta circunstancia ha sido causa de planteamientos incorrectos de las hipótesis de cálculo y de numerosos casos de fisuración y colapso.

En efecto, a diferencia de los elementos a flexión con relaciones canto-luz habituales, las tracciones principales se producen, en dichos elementos, en direcciones paralelas al plano horizontal de apoyo, como se puede observar en el diagrama de líneas de fractura por el trazado de las isostáticas de compresión de la [fig. 6.1](#). Este hecho hace que dichas tensiones deban ser absorbidas por estribos horizontales.

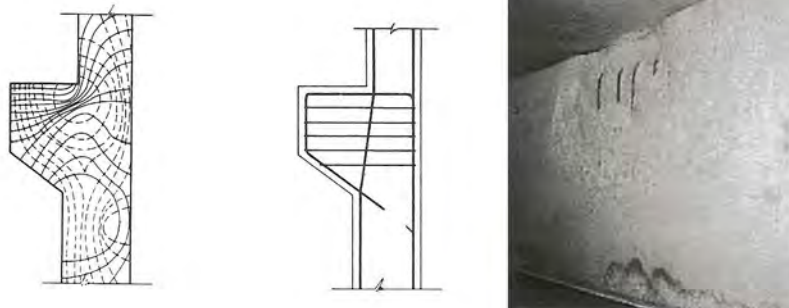


Fig. 6.1. En el gráfico izquierdo, en líneas discontinuas, trazado de las líneas de fractura de una ménsula cargada. En el gráfico central, estribo horizontal requerido por estos elementos. En la foto, un caso de fractura siguiendo el esquema del gráfico f) de la [fig. 6-2](#).

En los gráficos de la [fig. 6.2](#) se han recopilado las formas más frecuentes de fisuración de dichos elementos. Así, las grietas de los gráficos *a)* y *b)* se explican a partir del agotamiento del hormigón, mostrando el primer caso la separación de las bielas, que en una fase más avanzada puede conducir al aplastamiento ya iniciado de una forma directa en *b)*. En cambio, la grieta del gráfico *c)* se debe al giro por flexión de la ménsula al entrar en deformación plástica la armadura y mantenerse inmóvil el pilar o el muro soporte. El gráfico *d)* muestra la clásica rotura por cortante, con fisura que se marca desde el punto de aplicación de la carga al extremo inferior de la ménsula. En el gráfico *e)* la fisuración también es debida al efecto de corte puro,



marcando la tendencia al deslizamiento de la ménsula respecto al soporte. Por último, el gráfico f) muestra una grieta muy frecuente en el extremo superior de la ménsula producida por la tendencia al giro del elemento apoyado y una situación poco ajustada a la arista superior de la armadura a tracción de la ménsula (fig. 6.2).

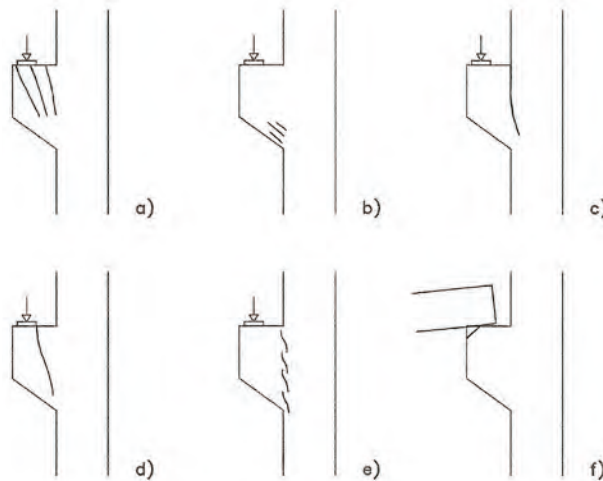


Fig. 6.2. Formas de fractura de una ménsula corta de hormigón armado sometida a una carga vertical.

Pautas de intervención

Para diseñar y dimensionar el refuerzo es preciso el conocimiento previo y la verificación de las hipótesis de cálculo de las ménsulas afectadas, así como la comprobación de la disposición de las armaduras en el interior de la pieza. La forma de refuerzo más habitual suele consistir en la adición de platabandas de acero adheridas con resinas epoxi a los paramentos de las ménsulas y, si es preciso, conectadas al muro o envolviendo al pilar. La envoltura horizontal de la ménsula y el pilar conjuntamente puede ser ejecutada igualmente con fibra de carbono.

Complemento bibliográfico

BAQUER, J. et al. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructuras de hormigón*. Institut d'Estudis Estructurals, Barcelona (pp. 15-95)

CALAVERA, J. (1996). "Ejemplos de fallos originados en la etapa de proyecto". *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*. INTEMAC (Tomo I, cap. 5, pp. 135-175).

CALAVERA, J. (1996). "Atlas de fisuras". *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*. INTEMAC (Tomo II, pp. 91-96).

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnóstico e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. II.3, pp. 27-48).

Anomalia 7

Grietas en el hormigón y hormigón armado de formación anterior a su endurecimiento

El hormigón, el hormigón armado y, en general, todos los materiales que contienen conglomerantes hidráulicos en su composición, como es el caso del cemento Portland en dichos materiales, experimentan desde el momento de su puesta en obra y a lo largo de todo el proceso hasta alcanzar su resistencia definitiva, una progresiva pérdida de volumen originada por la evaporación del agua no combinada durante las sucesivas reacciones de hidrólisis que tienen lugar en la masa del material. En la [fig. 7.1](#) se muestran de forma esquemática los periodos y momentos de aparición de las diversas modalidades de grietas a lo largo del proceso de endurecimiento del hormigón, enmarcando en rojo las que se forman en la fase anterior al endurecimiento del material incluidas en esta Anomalia.

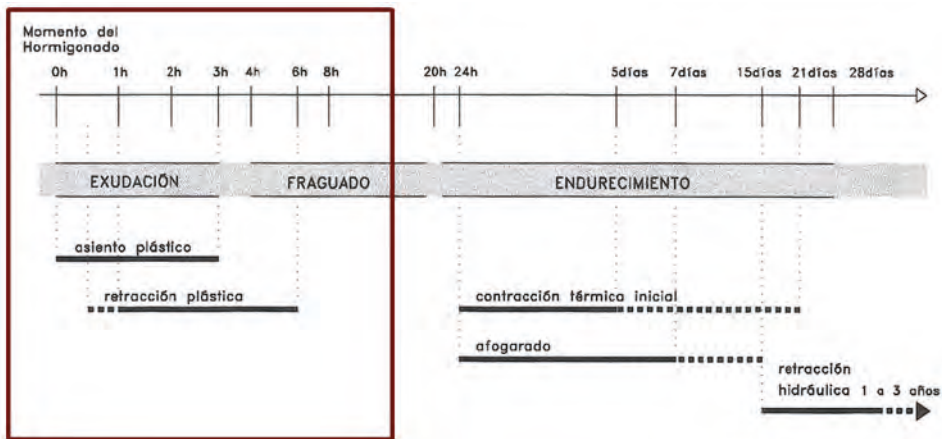


Fig. 7.1. Tipos y periodos de aparición de las fisuras por causas higrométricas en el hormigón. En el recuadro rojo se señalan los tipos de fisuras típicas de la fase anterior al endurecimiento del material.

La pérdida de volumen debida a la evaporación del agua no combinada genera tensiones en la masa del material que pueden originar grietas desde pocos minutos después de su puesta en obra, mientras el hormigón se halla aún en estado plástico. Se distinguen dos tipos de grietas con características distintas, llamadas respectivamente grietas de *asentamiento plástico* y grietas de *retracción plástica*.



La mayor parte de las grietas de asentamiento plástico aparecen en secciones gruesas, a diferencia de las grietas de retracción plástica, que son más frecuentes en soleras o losas planas expuestas a altos índices de evaporación. En la formación de ambos tipos de lesión interviene el fenómeno de la exudación, que es el nombre que recibe la acción del agua que asciende hacia la superficie superior del hormigón al poco tiempo de su amasado, forzada por el movimiento de las partículas sólidas endurecidas del material, que tienden a descender por gravedad hacia la parte inferior del elemento, expulsando el agua no combinada hacia la superficie. La exudación, es decir, la cantidad de agua evaporada, es tanto más elevada cuanto más baja es la humedad relativa ambiente y mayor su temperatura en las horas posteriores al hormigonado. Se exponen a continuación las características principales de los dos tipos de grietas mencionados.

Grietas de asentamiento plástico. Se forman generalmente durante las tres primeras horas después del vertido del hormigón y, excepcionalmente, hasta las seis e incluso ocho horas posteriores a dicha operación, siempre coincidiendo con una elevada exudación del material por hallarse en contacto con un ambiente extremadamente seco. Aparecen en los lugares donde el movimiento de asentamiento derivado del descenso de la masa del hormigón se halla de alguna forma restringido. En función de la forma concreta de dicha restricción, podemos distinguir los siguientes tipos de grietas:

- a) Grietas marcadas inmediatamente encima de las armaduras horizontales, que son las que restringen el movimiento descendente de la masa del hormigón, ya sean las armaduras principales o los estribos (fig. 7.2, tipo a).
- b) Grietas coincidiendo con cambios bruscos de sección, formadas como consecuencia de la diferencia de descenso derivada de la diferencia de grosores asentados. De hecho, a mayor grosor, mayor asentamiento. Son muy frecuentes en forjados reticulares (fig. 7.2, tipo b).
- c) Grietas horizontales marcadas en pilares y otros elementos verticales cuando los estribos restringen el movimiento descendente del hormigón (fig. 7.3, tipo c).
- d) Grietas coincidiendo con secciones horizontales con abundante número de armaduras que impiden el descenso del grosor del hormigón de recubrimiento situado por encima, generando así un plano de fractura total (fig. 7.3, tipo d).

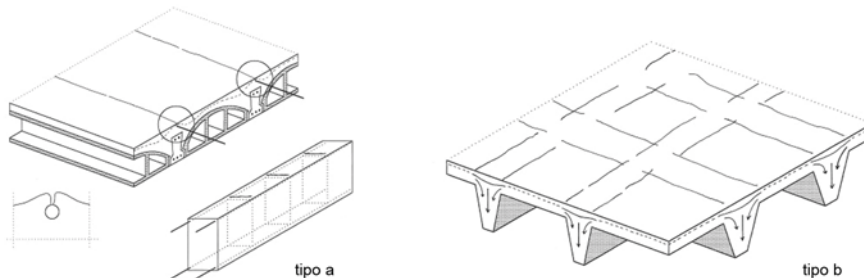


Fig. 7.2. Fisuras de asentamiento plástico. Tipos a y b.

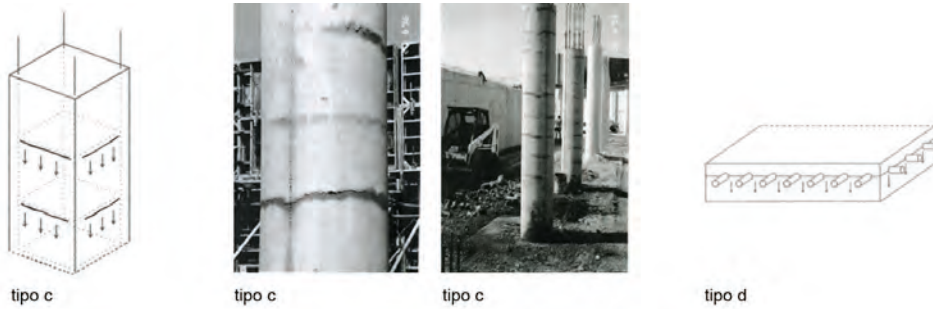


Fig. 7.3. Fisuras de asentamiento plástico. Tipos c y d.

Habitualmente, son grietas anchas y poco profundas, de nula o escasa trascendencia estructural, aunque pueden incidir sobre la durabilidad de las piezas al desproteger las armaduras de los efectos de la corrosión.

Grietas de retracción plástica. Aparecen aproximadamente entre la primera y la octava hora después del vertido del hormigón, aunque a veces pueden incluso aparecer al día siguiente. No deben ser confundidas con las de retracción hidráulica o de secado, que se forman en una fase posterior. Las grietas de retracción plástica son especialmente frecuentes en losas planas y soleras, y adoptan alguna de las siguientes formas:

- a y b) Grietas en diagonal, formando ángulos aproximadamente de 45° con las esquinas, manteniendo una separación de 0,2 a 2,0 m entre ellas (fig. 7.4 a). A veces, en forma de cresta, a modo de oleaje (fig. 7.4, tipos a y b, foto).
- c) Grietas siguiendo un modelo indeterminado, al azar, generalmente formando una especie de malla (fig. 7.4, tipo c).
- d) Grietas siguiendo el recorrido de las armaduras o de algún acontecimiento físico tal como un cambio de sección o una interrupción del hormigonado (fig. 7.4, tipo d).

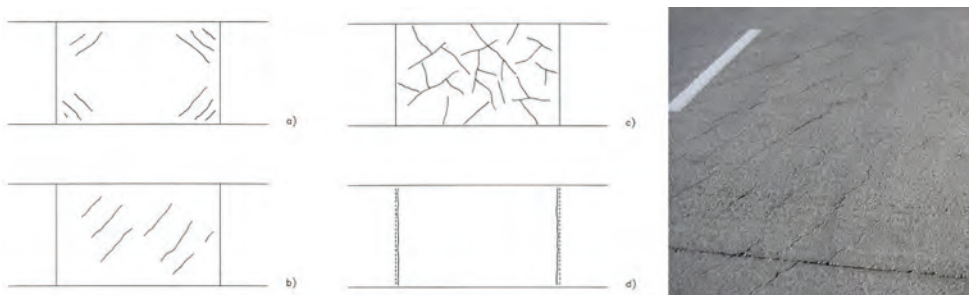


Fig. 7.4. En los gráficos, tipos de grietas de retracción hidráulica. En la fotografía, ejemplo de fisuras del tipo b en una calzada.



Estos modelos pueden manifestarse sobrepuestos en un determinado tramo de elemento. No es extraño, por ejemplo, que grietas como las del tipo d se marquen simultáneamente con las de los otros tipos.

Aunque estas grietas pueden llegar a ser muy anchas en la superficie del elemento (2 o 3 mm, o incluso más), reducen rápidamente su anchura con la profundidad, aunque es habitual que lleguen a atravesar el grosor de las losas, en contraste con las grietas de asentamiento plástico que no suelen hacerlo. Generalmente, la causa que las genera es el rápido secado del agua exudada, es decir, las grietas se forman cuando la evaporación excede a la exudación, lo cual suele presentarse en condiciones climáticas ventosas. El momento en que aparecen las grietas coincide precisamente con el de menor deformabilidad a tracción (elongabilidad) del material dentro de la fase plástica. Otras causas secundarias con posible incidencia en el incremento del grosor de las grietas pueden ser los descensos bruscos de temperatura ambiente y la retracción causada por la reacción temprana del cemento con el agua.

De lo anterior se deduce la importancia del proceso de curado para evitar este tipo de grietas. El curado aportará agua que contrarrestará los efectos de la evaporación excesiva en los momentos críticos en que la elongabilidad de la masa es menor, o sea, a las pocas horas de verter el hormigón.

Pautas para la intervención

Una vez diagnosticado el origen higrométrico de las lesiones observadas, la finalidad más frecuente de la intervención se limita a reparar las grietas con el objetivo de anular su visión, evitar la penetración de agua en la masa del elemento o la desprotección básica de la armadura si se trata de hormigón armado. Ello significa que, en general, estos daños no afectan a la seguridad del elemento donde se forman, con la únicas excepciones, factibles pero no probables, de las grietas horizontales en los pilares de hormigón armado y, más genéricamente, de las que se formen transversalmente a las direcciones de las tensiones de compresión en dicho material. Evidentemente, la técnica de reparación concreta a aplicar dependerá del objetivo planteado, siendo la más utilizada la colmatación de las grietas mediante su sellado superficial y posterior inyección de productos de base epoxídica o de prestaciones equivalentes, para dotar nuevamente de continuidad al material.

Complemento bibliográfico

CALAVERA, J., PÉREZ LUZARDO, J. M. (1990). *Tipología de fisuras en el hormigón armado*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria (pp. 17-26).

CONCRETE SOCIETY (1992). *Non-structural cracks in concrete*. Technical Report no. 22 of Concrete Society Working Party (ap. 5, pp. 16-23).

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnóstico e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d' Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 27-48).



FERNÁNDEZ CANOVAS, M. (1977). "Síntomatología". *Patología y terapéutica del hormigón armado*. Ed. Dossat, Madrid. (cap. 9, pp. 171-184).

JOISEL, A. (1975). "Fisuras debidas a la retracción hidráulica". *Grietas en morteros y hormigones*. Editores Técnicos Asociados, Barcelona (cap. 2, pp. 31-53).

SASTRE, R.; MUÑOZ, F. (2010). "Propiedades reológicas de los sólidos". *Propiedades de los materiales y los elementos constructivos*. Ediciones UPC (cap. 6, pp. 78-87).



Anomalía 8

Grietas de retracción en el hormigón y hormigón armado endurecidos

Una vez finalizadas las reacciones de hidratación que caracterizan la fase de fraguado, el hormigón inicia el desarrollo de sus capacidades mecánicas en la que se denomina fase de endurecimiento, la cual suele finalizar, para hormigones y condiciones ambientales normales, hacia los 28 días del vertido del hormigón. Hasta la finalización de esta fase y a lo largo de un tiempo de duración indeterminada, que depende de las condiciones atmosféricas de humedad y temperatura ambiente, el hormigón sigue experimentando una decreciente evaporación y pérdida de volumen. Posteriormente, las variaciones volumétricas debidas a las variaciones de la humedad relativa ambiente serán de muy escasa magnitud comparadas con las debidas a los cambios de temperatura.

Durante la fase de endurecimiento se pueden producir nuevos tipos de grietas y cuadros fisurativos de características muy distintas a las de la fase anterior. Aunque todas ellas se reconocen comúnmente con el apelativo de grietas de retracción, cabe distinguir entre ellas las denominadas grietas por *contracción térmica inicial* y *grietas de afogado* (también llamadas fisuras en mapa). A partir del tramo final de dicha fase y hasta los dos o tres años posteriores, y en ocasiones aún más tarde, pueden aparecer también las grietas llamadas de *retracción hidráulica*, denominadas también de retracción de secado. De hecho, con la retracción hidráulica finalizan los movimientos higrométricos irreversibles del hormigón. En la [fig.8-1](#), con el mismo esquema que el incluido en la [Anomalía 7](#), se muestran, enmarcados en rojo, la denominación y el momento aproximado de aparición de los diversos tipos de grietas propios de la fase de endurecimiento del hormigón anteriormente citados, de los que se exponen a continuación sus principales características.

Grietas por contracción térmica inicial. Son grietas producidas como consecuencia del calor generado en el núcleo del hormigón por las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento y las tensiones que la expansión inducida por dicho calor produce en las zonas a temperaturas más frías del mismo elemento, por estar en contacto con el ambiente o con volúmenes de hormigón puestos en obra con anterioridad. Suelen aparecer entre el primer y el quinto día después del vertido, cuando el hormigón ha finalizado ya su fraguado, aunque a veces retardan hasta unos quince días su aparición.

Las grietas por contracción térmica inicial se han confundido tradicionalmente y suelen confundirse aún con las de retracción hidráulica. Esto es así porque hay una elevada coincidencia con los lugares habituales de aparición y con algunos de los

factores que influyen en su formación. Como se aprecia en los gráficos de la [fig. 8.2](#) suelen ser familias de grietas paralelas, de anchura relativamente homogénea y regularmente separadas entre sí, si bien pueden marcarse también señalando juntas entre acontecimientos de puesta en obra o geométricos. En cuanto a su ubicación y características, cabe decir que abundan especialmente en los muros de contención, en las losas y, en general, en aquellos elementos de espesor considerable, en especial cuando la disipación de calor del núcleo se halla impedido por alguna de sus superficies, pudiendo coexistir grietas debidas a coacciones internas con las producidas por las externas.

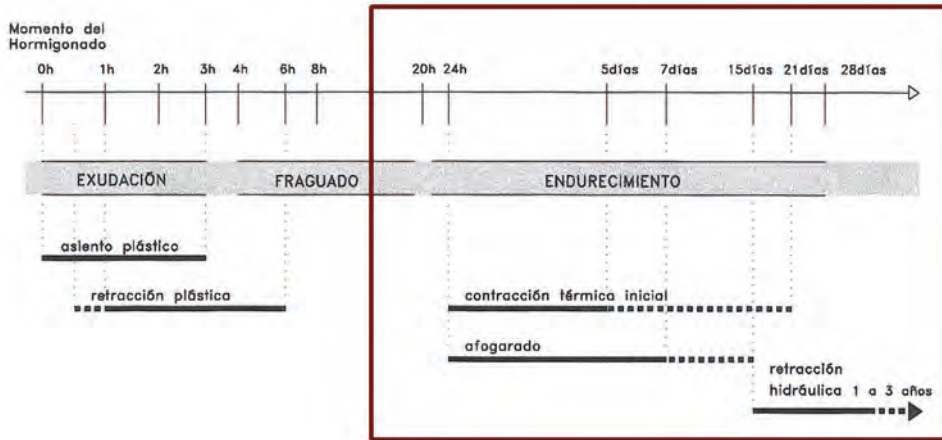


Fig. 8.1. Tipos y periodos de aparición de las grietas por causas higrométricas en el hormigón. En el recuadro rojo se señalan los tipos de grietas típicas de la fase de endurecimiento del material.

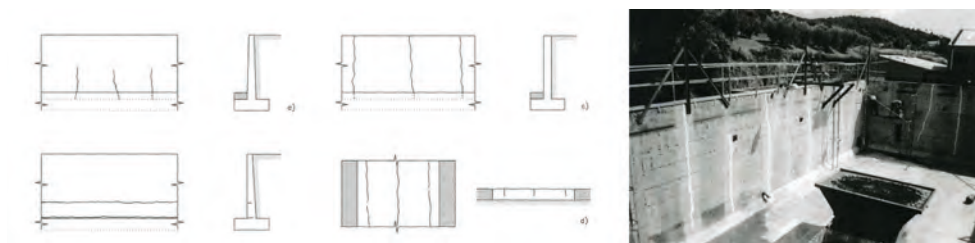


Fig. 8.2. En los gráficos, diversos tipos de grietas por contracción térmica inicial. En la foto, ejemplo de grietas del tipo c.

Grietas de afogarado. Se trata de grietas superficiales, generalmente de menos de 1 cm de profundidad y de anchura menor a 0,5 mm. Aparecen habitualmente entre uno y quince días después del hormigonado, durante la fase de endurecimiento, dibujando una especie de red en forma de malla de unos 5 a 20 cm de lado, a modo de piel de cocodrilo ([fig. 8.3](#)). A veces, la finura de estas lesiones solo permite percibir las al cabo de un cierto tiempo, cuando se han llenado de suciedad o polvo, o después de una lluvia. Su formación se debe fundamentalmente a la retracción causada por unas condiciones extremas de sequedad atmosférica, en unos momentos en que el material aún no ha adquirido toda su capacidad de deformabilidad a tracción. Dichas condiciones atmosféricas extremas son asociables casi siempre



a una situación ventosa, aunque una humedad relativa baja, sin ningún otro agente presente, también puede generarlas. Como factores intrínsecos al material, asociables también a este tipo de grietas, cabe citar la presencia de un alto gradiente de humedad en la sección del elemento, o la presencia en su composición de una discontinuidad física cercana de la superficie expuesta al exterior. Las losas de la [fig. 8.3](#) ilustran estos dos últimos casos: la primera representa a una solera excesivamente vibrada, con una clara disgregación del árido en su sección y una acumulación de árido fino en la parte superficial que es la agrietada; y la segunda, la fisuración del grueso del recubrimiento de una pieza, inducida por el efecto rigidizador de las armaduras sobre su *núcleo*. En ambos casos, en su superficie se marcaría la fisuración en forma de piel de cocodrilo anteriormente apuntado.



Fig. 8.3. En la foto izquierda, detalle del trazado típico de las grietas de afogado. En el gráfico central, representación de las tensiones de retracción causantes de las grietas. En el gráfico superior de la derecha, solera de hormigón con grietas de afogado debido a la acumulación de árido fino en la parte superior por exceso de vibrado; en el gráfico inferior, nervio de hormigón armado con grietas de afogado en el recubrimiento de la pieza, inducidas por el efecto rigidizador de la armadura sobre el núcleo interior.

Grietas de retracción hidráulica. La retracción hidráulica es la reducción de volumen del hormigón causada por la pérdida física y química de agua durante la fase final de su proceso de endurecimiento y la consiguiente exposición en un ambiente no saturado de humedad. Dicho movimiento de retracción en parte es irreversible, que es el que se deriva de las reacciones químicas últimas que se producen en la masa del hormigón una vez finalizada la fase de endurecimiento, y en parte es reversible, que es precisamente el producido por las variaciones de humedad relativa del aire en que está inmerso. Al igual que en los casos anteriores, para que un elemento de hormigón llegue a fisurar por esta causa, su movimiento debe hallarse interna o externamente coartado, de forma que las tensiones de tracción generadas en alguna de sus secciones, por la tendencia al acortamiento originada en este caso por la retracción hidráulica, lleguen a superar la resistencia a la tracción del material. De todas formas, hay que tener presente que, de hecho, estas tensiones se suman a las generadas durante las fases plástica y del inicio del endurecimiento, y que, en consecuencia, la probabilidad de formación de grietas por retracción hidráulica está relacionada con los factores que inciden también sobre el comportamiento del material en las fases anteriores.

De lo anterior se deduce que las grietas por retracción hidráulica pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón. Resulta difícil prefiar, en cambio, la duración del periodo en que persiste el riesgo de su aparición, si bien en condiciones normales suele ser inferior a un año, retardándose a veces hasta los dos y tres años, en función de las condiciones de sequedad atmosférica



y del resto de factores que intervienen en su formación. Dichas grietas se pueden identificar a partir de las siguientes características:

- Grietas de anchura bastante homogénea, finas y de profundidad variable que pueden llegar a partir incluso la sección de la pieza o elemento. En todo caso, la anchura de las grietas puede variar cuando existen diferencias en el grado de exposición de las piezas al exterior.
- En superficies planas de sección homogénea, tales como soleras, muros exentos o muros de contención, se marcan siguiendo líneas paralelas separadas homogéneamente, señalando a veces las juntas frías del hormigonado (fig. 8.4).
- En los elementos con cambios geométricos de sección, las grietas suelen coincidir con dichos planos. También las secciones con cambios bruscos en la cuantía mecánica de las armaduras son lugares preferentes de manifestación de las grietas (fig. 8.5).
- En elementos lineales que forman parte de pórticos, las grietas se marcan en las jácenas de menor rigidez, como consecuencia de la coacción impuesta a su acortamiento por los pilares relativamente más rígidos (fig. 8.5).

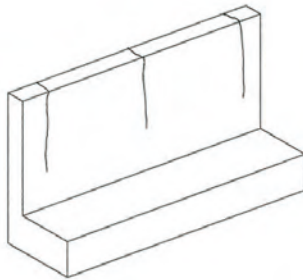


Fig. 8.4. En el gráfico, grietas verticales de retracción hidráulica en un muro de contención. En la foto, grietas de retracción hidráulica horizontales en un muro de hormigón armado de una fachada. En ambos casos, las grietas son paralelas y homogéneamente separadas.

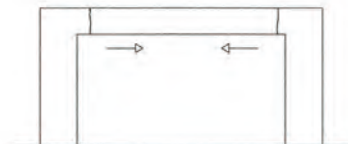
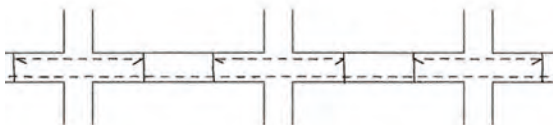


Fig. 8.5. En el gráfico de la izquierda, esquema de grietas de retracción hidráulica coincidiendo con los cambios bruscos de cuantía de la armadura en una viga de hormigón armado. En el gráfico de la derecha, esquema de grietas de retracción hidráulica coincidiendo con las zonas de cabio de rigidez de los elementos.



Al igual que sucede con las grietas de contracción térmica inicial del hormigón, los factores que influyen sobre la factibilidad de formación de grietas por retracción hidráulica son numerosos. Entre las de mayor incidencia, cabe citar la humedad relativa ambiente, la relación agua/cemento del hormigón fresco, la dosificación de los áridos, la relación superficie/volumen de las piezas y las condiciones de curado del hormigón.

Pautas para la intervención

Los criterios de intervención que se aplican cuando se diagnostican estos tipos de lesiones son muy similares a los expuestos en la [Anomalía 7](#) referente a las grietas aparecidas en la fase anterior al endurecimiento del hormigón. Es decir, se trata de lesiones que, en general, no afectan las condiciones resistentes de los elementos, excepto en los casos que se manifiesten en sus zonas comprimidas, en cuyo caso hay que evaluar su posible incidencia sobre la reducción de la sección útil en los elementos resistentes para definir el objetivo de la intervención. En cualquier caso, suele ser suficiente, previo a su sellado superficial, inyectar las grietas con un producto de base epoxídica ([fig. 8.6](#)) con la dosificación adecuada a la finalidad de la intervención, la cual puede ser doble: restituir la continuidad tensional del elemento resistente, si es preciso, y, en todo caso, proteger las armaduras, si las hay, contra la pérdida de la protección básica coincidente con el recubrimiento del hormigón agrietado.



Fig. 8.6. Reparación de grietas de retracción hidráulica mediante inyección de resinas epoxídicas en los muros de hormigón perimetrales en la planta sótano de un edificio residencial.

Complemento bibliográfico

CONCRETE SOCIETY (1992). *Non-structural cracks in concrete*. Technical Report no. 22 of Concrete Society Working Party (ap. 6, 7, 8, 9, pp. 24-36).

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnóstico e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 27-48).

JOISEL, A. (1975). "Fisuras debidas a la retracción hidráulica". *Grietas en morteros y hormigones*. Editores Técnicos Asociados, Barcelona (cap. 2, pp. 31-53).

SASTRE, R., MUÑOZ, F. (2010). "Propiedades reológicas de los sólidos". *Propiedades de los materiales y los elementos constructivos*. Ediciones UPC (cap. 6, pp. 78-87).

Anomalia 9

Corrosión de las armaduras de acero en elementos resistentes de hormigón armado

La corrosión de las armaduras constituye uno de los daños más frecuentes en el hormigón armado y el que suele limitar su durabilidad. Entre las diversas causas y situaciones ambientales que generan el daño, la más habitual es la producida por la pérdida progresiva de la protección básica de la armadura debida a la carbonatación del hormigón que la recubre. La combinación del anhídrido carbónico presente en el aire con el hidróxido de cal presente en la pasta del hormigón da lugar a la formación de carbonato cálcico. Este proceso, denominado carbonatación, produce la disminución del carácter básico del hormigón del recubrimiento, que es la cualidad que evita o retarda el proceso de oxidación de las armaduras. Cuando el frente de carbonatación del recubrimiento alcanza las armaduras, se acelera el proceso de oxidación que propicia su expansión, la cual genera en una primera fase el agrietamiento del hormigón y, en una fase posterior, su separación y desprendimiento, que dejan la armadura corroída al descubierto (fig. 9.1, 9-2).

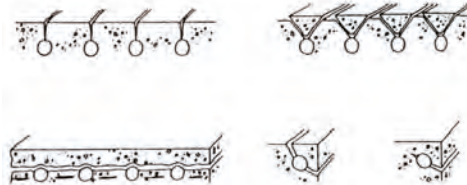


Fig. 9.1. Formas de agrietamiento causadas por la expansión de las armaduras originada por su oxidación.



Fig. 9.2. En el gráfico y la foto central, localización de las fisuras en los pilares, coincidentes con la localización de las armaduras principales. En la foto derecha, pilares con los síntomas habituales de la oxidación de las armaduras en sus bases, con desprendimiento del material que las recubre.



Evidentemente, en la velocidad de este proceso intervienen muchos factores: grado de humedad ambiente, porosidad del material, dosificación de cemento portland del hormigón y grosor del recubrimiento de hormigón, entre otras. Así, para un determinado grosor de recubrimiento, las condiciones que más favorecen la velocidad en la formación del óxido son los grados de humedad relativa ambiente comprendidos entre el 50 % y el 75 %, las altas relaciones agua/cemento y los bajos contenidos de cemento por metro cúbico de hormigón. A partir de anchuras superiores a unos 0,4 mm, las grietas constituyen ámbitos de desprotección básica total de la armadura posterior.

La presencia de cloruros es otra de las causas que genera la corrosión de las armaduras del hormigón. Los cloruros pueden proceder del interior del hormigón, en los casos que se haya utilizado cloruro cálcico como acelerador de fraguado o áridos contaminados. También pueden filtrarse por la porosidad del material en ambientes salinos o cuando se adicionan en la superficie del elemento constructivo para evitar el efecto de las heladas. Una parte de los iones cloruro presentes en el momento del amasado pueden sumarse a los anteriores. Cuando su contenido total supera un cierto límite en relación con el contenido de cemento, inciden en la despasivación de las armaduras, generando procesos de oxidación de forma puntual en forma de picaduras, o de forma generalizada, análoga a la expuesta anteriormente, sumando sus efectos y acelerando el proceso de deterioro del acero y del hormigón circundante. Su velocidad de penetración sigue leyes análogas a la carbonatación.

A efectos prácticos, la incidencia de la corrosión de las armaduras sobre la capacidad resistente del hormigón armado debe considerarse a partir de la reducción de la sección útil del acero no afectado por la oxidación y de la pérdida de adherencia entre los dos materiales. Este segundo aspecto es más difícilmente evaluable que el primero, por lo que suele considerarse que la adherencia es nula cuando los efectos de la corrosión del acero han causado ya la fisuración de dicho material. Además de las fisuras, las manchas de óxido en la superficie de las piezas pueden ser el primer síntoma del daño que, si no existe variación de los agentes causantes, proseguirá en su acción y proceso de manifestación. Por otra parte, la presencia excesiva de cloruros provoca la fragilización de las armaduras, fenómeno capaz de inducir situaciones de colapso sin prácticamente preaviso.

Pautas para la intervención

Todo elemento con fisuras generadas por la corrosión de armaduras requiere de intervención de reparación o refuerzo (fig. 9.3, 9-4). Los protocolos de actuación se hallan muy establecidos y son coincidentes en la necesidad del repicado del hormigón que circunda la armadura dañada hasta dejarla completamente descubierta, con el fin de eliminar el óxido en todo su diámetro y evitar que se pueda generar por electroquímico entre dos zonas de una misma sección del acero. La siguiente operación consiste en la extracción del óxido por raspado o aplicación de chorro de arena y limpieza de la superficie del hormigón adyacente. Finalmente, se aplica un compuesto para formar el puente de unión con el mortero de reparación que debe restituir volumétricamente el hormigón eliminado (fig. 9.5). La aplicación de inhibidores de corrosión superficiales o pinturas anticarbonatación pueden ser efectivos en fases muy iniciales del proceso o como medida preventiva. Cuando la pérdida de sección útil de la armadura una vez extraído el óxido se descubre que supera el 10 %, se recomienda el recálculo del elemento o estructura afectados para decidir

con criterio la necesidad de su refuerzo mediante la sustitución de las armaduras afectadas o la adición de nuevas armaduras. Las reparaciones parciales o *parcheos* no aseguran la interrupción de los procesos de creación de nuevos pares galvánicos entre las zonas reparadas y las restantes.



Fig. 9.3. Rehabilitación de las fachadas en el edificio de la Unité d'Habitation de Marsella, fuertemente afectadas por los efectos de la corrosión de las armaduras en los elementos estructurales de hormigón armado.



Fig. 9.4. Corrosión generalizada en la estructura de hormigón armado de los núcleos verticales de acceso de un barrio residencial en Barcelona. En la foto de la izquierda pueden observarse diversos núcleos recubiertos con mallas protectoras como medida cautelar.



Fig. 9.5. Proceso a seguir para la reparación de armaduras afectadas por corrosión.



Complemento bibliográfico

ACHE (2015). *Sistemas de reparación y protección de estructuras de hormigón con corrosión*. ACHE, Monografía 26 (cap. 4, 5, 6, pp. 61-214-241).

COBO, A. (2001). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: causas y procedimientos de rehabilitación*. Fundación Escuela de Edificación, Madrid (Tema I, cap. 1, ap. 1.2., pp. 5-30; Tema II. pp. 109-230).

FELIU, F., ANDRADE, C. (1989). *Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*. CNAIM-IET. (cap. 1 y 2, pp. 11-55).

GONÇALVES, A., ANDRADE, C., CASTELLOTE, M. (2015). "Procedimientos de reparación y protección de armaduras". *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón*. Red REHABILITAR, CYTED (cap. 7, pp. 341-376).

HELENE, P. (2000). "Orientación para la correcta protección de estructuras de hormigón dañadas por corrosión de armaduras". *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona Barcelona (cap. 14, pp. 133-140).

HELENE, P. (2000). "Protección y mantenimiento de las superficies de hormigón". *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 12, pp. 115-126).

VÁZQUEZ, E. (2000). "La corrosión de las armaduras de acero". *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 5, pp. 59-61).

Anomalía 10

Corrosión de elementos resistentes en estructuras metálicas de acero

Es bien conocido que los perfiles de acero expuestos a los agentes atmosféricos, en contacto con el oxígeno del aire, en presencia de humedad o atmósferas contaminantes (niebla salina, gases, etc.), son propensos a experimentar procesos de corrosión que provocan la formación de herrumbre en las capas externas del material y su consecuente pérdida de sección. Es por ello que en aplicaciones estructurales el acero expuesto a la intemperie debe protegerse superficialmente para evitar el inicio de dichos procesos. El procedimiento más habitual suele ser la aplicación periódica de pinturas a base de zinc, plomo o epoxi, entre otras. Los principales problemas que se presentan en las estructuras metálicas existentes coinciden con las localizaciones con posible entrada de agua pero de imposible o difícil acceso para su mantenimiento periódico. Entre ellos, cabe destacar las partes inferiores de los pilares en contacto con los pavimentos exteriores (fig. 10-1). También resultan especialmente críticos los tramos coincidentes con cámaras sanitarias con escasa o nula ventilación, ya que suelen contener un elevado nivel de humedad en su ambiente. En estas condiciones, las operaciones de mantenimiento se hallan dificultadas por la necesidad de repicar el pavimento para descubrir la zona humedecida del perfil o por las frecuentemente difíciles condiciones de acceso a las cámaras sanitarias. Las pérdidas de sección pueden ser muy importantes, con descamaciones profundas o perforación de las piezas (ver [Anomalía 27](#)).



Fig. 10.1. En la foto de la izquierda, base de un pilar exterior de un porche con fuertes síntomas de corrosión. En la foto de la derecha, pilares del porche de la figura anterior una vez reparados con suplemento de chapa de acero y pintura protectora.



Pautas para la intervención

La decisión sobre la actuación a emprender depende de la reducción de sección útil originada por la formación del óxido. Según sea la pérdida de resistencia, se precisará la reintegración de la sección original con perfilera metálica adicional que restituya o supla la dañada. En todo caso, es necesario proceder a una intervención protectora contra la corrosión con la eliminación de la parte oxidada y la aplicación de las capas convenientes de pintura antióxido.

Complemento bibliográfico

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de pilares" y "Técnicas de refuerzo de vigas". *Rehabilitar con acero*. Publicaciones APTA (cap. 5 y 6, pp. 207-337).

MARTÍNEZ LASHERAS, C., MARTÍNEZ LASHERAS, R. (1998). "Rehabilitación de estructuras metálicas". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Tomo 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. IV, ap. 7, pp. 425-428).

MARTÍNEZ LASHERAS, C., MARTÍNEZ LASHERAS, R. (1998). "Patología de estructuras metálicas y estructuras mixtas". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Tomo 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. IV, ap. 6, pp. 383-410).

PANCORBO, F. J. (2010). "Corrosión de los metales". *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Marcombo, ed. (cap. 2, pp. 7-73).

PANCORBO, F. J. (2010). "Protección de los metales frente a la corrosión". *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Marcombo, ed. (cap. 11, pp. 381-428).

Anomalia 11

Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en pilares de piedra o ladrillo cerámico macizo

Los pilares de fábrica o de mampostería de piedra pueden manifestar el exceso de compresión marcando roturas verticales o inclinadas siguiendo la dirección de las líneas de fractura canónicas cuando la carga es centrada, manteniéndose la resultante dentro del tercio central de la sección. Cuando la carga no es centrada, suelen aparecer grietas verticales en la zona del paramento más comprimido y grietas horizontales o la abertura de las juntas de la fábrica en el paramento opuesto traccionado (fig. 11-1, fig. 11-2, fotos izquierda y central). En los pilares de fábrica, de forma análoga a lo ya expuesto en los muros, el aplastamiento del mortero es factible que sea el primer síntoma del daño (ver Anomalia 1), que puede no ser seguido de alguna de las formas de ruptura anteriores. La excentricidad de la carga en pilares de ladrillo o de mampuestos de piedra puede también originar su abombamiento general (fig. 11-2, foto derecha).

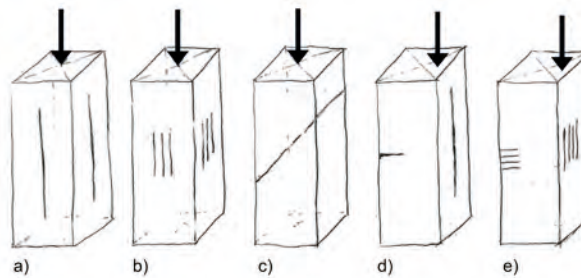


Fig. 11.1. Formas de fractura de los pilares a base de materiales rígidos.



Fig. 11.2. A la izquierda y en el centro, pilares de piedra con fracturas debidas a las cargas verticales. En la foto de la derecha, pilar en esquina abombado por los efectos de la carga excéntrica.



Pautas para la intervención

Las soluciones más habituales consisten en el confinamiento de la deformación transversal del pilar o en el aumento de su sección para absorber, parcial o totalmente, las cargas que recibe. Históricamente, la forma de refuerzo más utilizado era el zunchado mediante anillos de hierro colocados en caliente, de modo que, al enfriarse, la tendencia a acortarse del hierro presionaba los anillos contra el pilar impidiendo, así, su deformación transversal (fig. 11-3). Con los años se han ido adoptando otras técnicas basadas en el concepto de zunchado, tales como presillas de acero soldadas y conectadas a perfiles angulares en las esquinas, recrecidos con hormigón armado, o refuerzos más modernos mediante materiales composite que envuelven el elemento original, ya sea con bandas o tejidos de fibra de carbono adheridos con resinas epoxídicas o mallas de fibra de vidrio con matriz de base cementicia. Técnicas todas ellas también utilizadas para reforzar pilares de hormigón armado (ver Anomalía 5). Estas técnicas pueden combinarse con algunas de las expuestas para el refuerzo de muros gruesos, como las taxidermias y las inyecciones (fig. 11-4, foto derecha) (ver Anomalía 1), y su elección depende de las condiciones y los objetivos de la intervención, tales como espacio disponible, los recursos técnicos disponibles o la priorización del mantenimiento de la primigenia apariencia formal del material original.



Fig. 11.3. Pilares en edificios históricos reforzados con anillos metálicos.

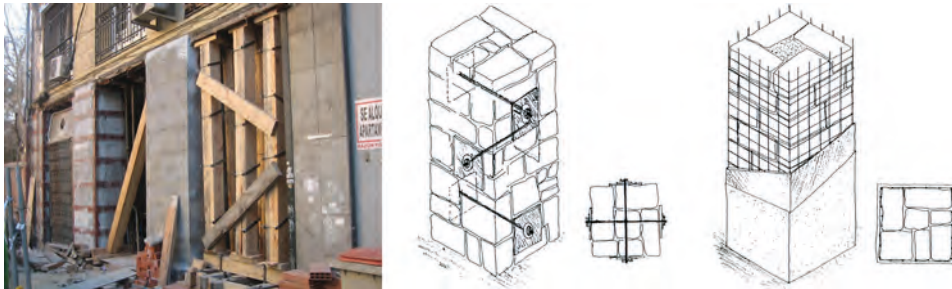


Fig. 11.4. En la foto, refuerzo de pilar de ladrillo mediante zunchado con angulares y presillas metálicas. En el gráfico del centro, refuerzo de pilar de piedra mediante tirantes metálicos distribuidos de forma alternada en altura. En el gráfico de la derecha, refuerzo de pilar de piedra (podría ser también de ladrillo) mediante recrecido de hormigón armado.



Complemento bibliográfico

CIGNI, G. (1978). "Interventi nelle strutture soggette a schiacciamento". *Il consolidamento murario*. Ed. Kappa (cap. XII, pp. 166-196).

MARIANI, M. (2006). "Interventi su pilastri e colonne". *Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura* (Tomo II, cap. 28, pp. 399-419).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). "Strutture verticali, Colonne e pilastri". *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma (Parte Seconda B2, pp. 63-69).



Anomalia 12

Grietas debidas a las cargas verticales en dinteles de piedra o ladrillo

La construcción de los dinteles de piedra en los edificios antiguos solía hacerse de una única pieza apoyada lateralmente en los muros o con diversos mampuestos tallados, denominados dovelas, de forma que la inclinación de las juntas se aproximara a la dirección ortogonal de la línea de presiones del imaginario arco contenido en la sección del dintel (fig. 12-1, 12-2). A veces, de forma similar a las soluciones para las losas de los balcones, las dos piezas extremas empotradas en los muros daban apoyo a otra pieza situada entre las dos (fig. 12-3). Los dinteles de ladrillo completamente horizontales no son muy frecuentes puesto que deben construirse mediante un aparejo a sardinel variando la inclinación de las juntas con la misma finalidad que en los de piedra, si bien fiando parcialmente su equilibrio en la capacidad adherente del mortero. La inclusión, a veces, de arcos de descarga formados también con ladrillo en el tramo de encima del dintel tiene la función de reducir las cargas verticales que le correspondería soportar (fig. 12-4).



Fig. 12.1. En las fotos, dintel formado por una sola pieza de piedra, con rotura por el centro del vano. En los gráficos, dos formas y despieces de arcos con dovelas.



Fig. 12.2. En la foto izquierda y gráfico central, dinteles de piedra adovelados con los arranques movidos por la acción de las cargas. En el gráfico de la derecha, esquema de fisuración del mismo tipo de dintel originado por la misma acción que los anteriores.



Fig. 12.3. Dintel formado con tres dovelas de piedra tallada reforzado con armadura de acero empotrada.



Fig. 12.4. En la foto y el gráfico central, dintel de ladrillo clásico con indicación de la línea de presiones. En el gráfico de la derecha, localización típica de las grietas, especialmente probables cuando las juntas se disponen verticalmente.

Las roturas en dinteles de piedra o ladrillo suelen aparecer en el tramo central del vano, con mayor anchura de la grieta en la parte inferior, por la mayor intensidad de las tensiones de tracción en esta zona. En estos casos, la existencia o formación de un arco de descarga no ha podido evitar que el dintel se comporte como un elemento a flexión, con una manifestación prioritaria de las solicitaciones asociadas al momento positivo máximo en su parte central. De todas formas, la manifestación de los daños puede ser diversa, y es preciso analizar en cada caso la situación de la línea de presiones en función de las cargas que recibe el dintel y la relación con su localización concreta, ya sea en forma de grietas, fricciones entre piezas o movimientos de los apeos.

Pautas para la intervención

Los refuerzos suelen realizarse con la disposición de armaduras empotradas según la dirección del dintel y envueltas en mortero epoxídico (fig. 12-3). En muros muy gruesos, puede ser necesaria la colocación por fases de diversos perfiles en paralelo en la sección del muro envueltos en chapa metálica o en malla electrosoldada, que aporta continuidad al conjunto del refuerzo y envuelve el material interpuesto entre ellos (fig. 12-5). La disposición de una platabanda metálica por debajo del dintel agrietado, apoyada o soldada a platabandas laterales fijadas a las jambas de la abertura, es otra de las soluciones posibles.



Fig. 12.5. Reconstrucción de dintel en muro de piedra con perfiles metálicos dispuestos en paralelo con recubrimiento de malla metálica.

Complemento bibliográfico

BRUFAU, R. (2010). "Los arcos". *Rehabilitar con acero*. Publicaciones APTA (cap. 3, pp. 117-124).

MAS-GUINDAL, A. J. (1998). "Estructuras de dintel, arco y bóveda (estabilidad, resistencia y rigidez)". *La reparación de la estructura*. Fundación Cultural COAM, Madrid (pp. 23-38).

VILLANUEVA, L. (1972). "Consideraciones acerca del comportamiento mecánico de los arcos pétreos". *De Re Restauratoria. Cátedra Gaudí, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona* (pp. 163-198).



Anomalía 13

Pudrición de pilares, vigas y viguetas de madera

La presencia de hongos de pudrición en los elementos de madera de los edificios origina su pérdida de resistencia debido a que se alimentan de sustancias (celulosa o lignina) que, al desaparecer, destruyen su estructura interna, provocando la pérdida de cohesión del material en las partes afectadas. La formación de los hongos requiere que la madera contenga cuanto menos un 15 % - 20 % de humedad en relación con su peso en estado seco durante algunos meses, con el fin de que puedan metabolizar su alimento. La probabilidad de ataque dependerá de la durabilidad natural de la especie (hay maderas más resistentes al ataque que otras; por ejemplo, el roble es más resistente que el abeto o el pino), de la persistencia en el tiempo de la humedad alta en la madera superior al 20 % y de la temperatura, siendo las comprendidas entre los 22 °C y 30 °C las óptimas para la acción de los hongos. De hecho, las maderas situadas en el interior, que se encuentran ventiladas, tendrán una humedad igual o menor del 18 % y, por tanto, no sufren humectación por defectos constructivos, están prácticamente a salvo de este tipo de degradaciones.

En general, en los edificios, las zonas más expuestas a la presencia de hongos son las que no cumplen las condiciones anteriores: extremos empotrados de vigas sin ventilación humedecidos por contacto con muros que, de forma ocasional o permanente, transmiten humedad; zonas con filtraciones de agua de lluvia por defectos de la envolvente (cubierta, paredes de fachada, ventanas o balcones); zonas en contacto o próximas a instalaciones que aporten humedad (fontanería, desagües, condensaciones); o zonas en contacto o próximas al terreno (vigas de sótano, base de pilares) afectadas por la ascensión por capilaridad del agua que contiene o por salpicaduras.

Se suelen distinguir tres tipos de pudrición asociables a cambios de coloración de la madera y a la forma que adoptan los daños. La *pudrición parda*, también llamada cúbica, es la más frecuente en los edificios. La producen hongos que se alimentan de celulosa y dejan un residuo de lignina. Puede darse tanto en coníferas como en frondosas, y en condiciones óptimas de humedad y temperatura genera un ataque intenso y en profundidad. En algunas fases del ataque se puede visualizar por la formación de cubos relativamente grandes de color pardo (fig. 13-1). La *pudrición fibrosa*, también llamada blanca, la producen hongos que se alimentan de la lignina y dejan la madera de color más claro y a veces con textura fibrosa. Finalmente, la *pudrición blanda*, parecida en su aspecto a la cúbica, se presenta principalmente en frondosas, se alimenta de celulosa, con progresión muy intensa y superficial, y con formación en algunas fases del ataque de cubos pardos de menor dimensión que la pudrición cúbica mencionada anteriormente.



Las zonas atacadas anteriormente citadas pueden detectarse o verificarse también por la pérdida de consistencia que experimentan, lo cual las hace fácilmente punzables. Cabe subrayar que, si bien no es muy frecuente, en función de las condiciones y persistencia de los ataques, tanto en las vigas y viguetas como en los pilares, la zona podrida puede superar los límites de la parte empotrada y alcanzar la zona anexa visible (fig. 13-2).



Fig. 13.1. Esquema del avance de la pudrición en el apoyo de una viga. En las fotografías, ejemplos de vigas afectadas por pudrición parda.



Fig. 13.2. Ejemplos de pudrición de elementos de madera, visibles en la zona próxima a su empotramiento.

Pautas para la intervención

La probabilidad de que existan elementos de madera afectados por los hongos de pudrición en las zonas potencialmente húmedas y en especial las empotradas no visibles de pilares, cerchas, jácenas y viguetas aconseja realizar en los procesos de diagnóstico una inspección sistemática de dichas partes abriendo calas en la obra anexa en contacto, punzonando la parte accesible de la madera o efectuando perforaciones, que permitan detectar los cambios de consistencia o de aspecto de la madera. Dicha inspección es recomendable extenderla a una muestra de elementos de las cubiertas, recorridos de instalaciones susceptibles de transmitir humedad y techos de locales húmedos cuando se hallen ocultos por cielos rasos.

Con anterioridad a cualquier intervención de reparación se requiere la eliminación de la fuente de humedad para evitar la posterior progresión del ataque. La reparación a efectuar de los elementos dañados dependerá del grado de afectación que sufra la madera y de su localización. Si la afectación no es muy intensa y la pieza

mantiene unas condiciones de seguridad aceptables, se suele proceder a un tratamiento de conservación consistente en la limpieza y, en su caso desbastado de la parte inservible, como operaciones previas a la aplicación de un tratamiento químico para mejorar su durabilidad natural, aplicado mediante pincelado, pulverización o inyectado. En el caso de que se llegue a desmontar la pieza para su posterior montaje, se pueden aplicar también procedimientos de inmersión o autoclave. Cuando las condiciones de las piezas no son asumibles mecánicamente, hay que proceder a su refuerzo o sustitución física o funcional. En el caso de pilares, la actuación más frecuente consiste en la disposición de pies derechos metálicos o de madera situados junto al dañado. En vigas o viguetas y en cerchas, dependerá de la situación de la zona dañada. Cuando la afectación se localiza solo en los apoyos, que es el caso más habitual, se puede optar por la sustitución funcional de la zona del elemento afectado, ya sea disponiendo nuevos elementos de apoyo en forma de viga o cartela (fig. 13-3), o por la sustitución física de la madera podrida con morteros epoxídicos conectados con barra de fibras vidrio a la madera sana (fig. 13-4). Cuando la zona podrida afecta a la parte central del elemento, normalmente se procede a su sustitución, si bien cabe la posibilidad de disponer perfiles metálicos fijados a las partes sanas, o usando el mismo sistema de barras de fibra de vidrio y mortero epoxídico, si conviene mantener la volumetría de su forma original.

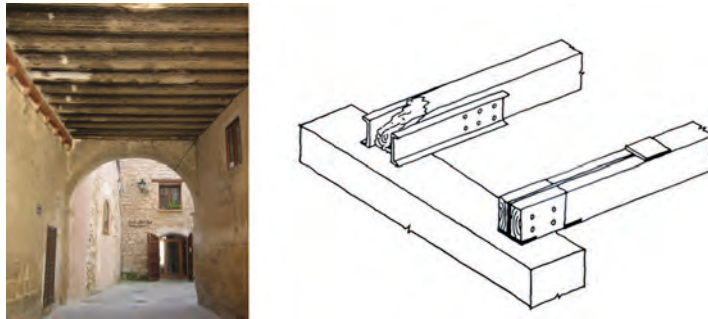


Fig. 13.3. En la foto, ejemplo de sustitución funcional de apoyos con disposición de viga paredera. En el gráfico, detalle de sustitución funcional de la zona del apoyo con perfilera metálica aparente o enfundada.

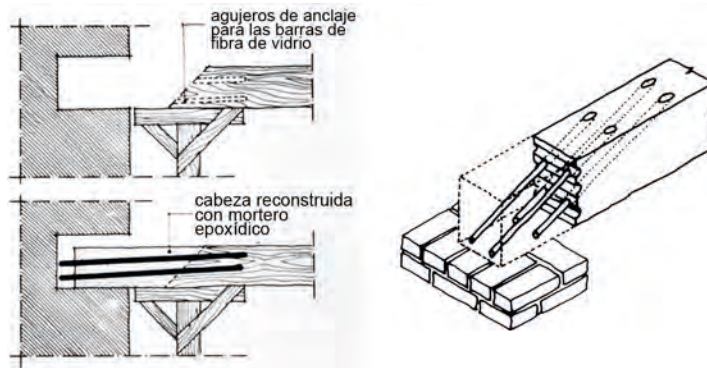


Fig. 13.4. Sustitución física de la zona afectada por pudrición con mortero epoxídico y barras de fibra de vidrio que conectan la madera sana con el mortero.



Complemento bibliográfico

ABASOLO, A. (1991). "Degradación y recuperación de las estructuras leñosas". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 2, cap. 15, pp. 59-88).

ARRIAGA, F., PARAZA, F., ESTEBAN, M., BOBADILLA, I., GARCÍA, F. (2002). *Intervención en estructuras de la madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM) (cap. 2 y 3, pp. 37-66; cap. 5 y 6, pp. 101-172; Anexo A, pp. 231-267).

AA. VV. (1995). *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (Parte II, ap. 4.3 pp. 45-53; Parte IV, ap. 13, pp. 139-146).

MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio ed. (cap. 3, pp. 53-90; cap. 4, pp. 91-144).



Anomalía 14

Ataque de los insectos xilófagos en pilares, vigas y viguetas de madera

Los insectos denominados xilófagos son los que se alimentan básicamente de la celulosa y la lignina que contiene la madera. Su ataque puede ser de muy diversa gravedad según sea la especie de insecto presente. Entre los más comunes en los elementos constructivos de madera cabe citar los insectos de ciclo larvario, entre ellos algunas especies de carcomas y de polillas, y algunas especies de termitas.

Los insectos de ciclo larvario reciben esta denominación porque en su ciclo de vida experimentan una metamorfosis cuyo inicio, en su fase inicial de larva, se desarrolla en el interior de la madera, y se alimenta de ella practicando galerías de sección aproximadamente circular, que a medida que progresan van dejando atrás un residuo de serrín. Durante este ciclo son de difícil o imposible visualización, al transcurrir por el interior de las galerías. Su detección se produce ordinariamente al final del ciclo larvario, cuando salen al exterior como insectos perfectos, lo cual no siempre sucede, dado que pueden iniciar un nuevo ciclo sin salir al exterior. Cuando se producen estas salidas al exterior se detectan fácilmente por la presencia de orificios en las superficies de las piezas afectadas y caída del serrín, con características propias de cada especie. En determinadas circunstancias, puede detectarse la presencia de los insectos por alteraciones en la capa exterior de las galerías o mediante la utilización de equipos especiales por auscultación y comparación de patrones de ruido, que permiten predecir la presencia en concreto de los insectos y su nivel de actividad. La presencia de este tipo de insectos no suele afectar de forma significativa a la seguridad de los elementos de madera de los edificios, dada la proporción ente la sección de galería perforada en relación con las dimensiones habituales de las piezas, salvo que se produzcan reinfecciones reiteradas a lo largo del tiempo.

Los principales insectos de ciclo larvario que actúan en nuestro entorno geográfico pertenecen a tres familias: los *cerambícidos*, representados por el *Hilotrupes bajulus*, denominado comúnmente como *carcoma grande*; los *anóbidos*, representados por dos especies, el *Anobium punctatum* (De Geer) y el *Xestovium rufovillosum* (De Geer), denominados comúnmente como *carcoma a secas*, y los *líctidos* con otras dos especies, *Lyctus brunneus Steph* y *Lyctus linearis Goeze*, denominados vulgarmente como *polillas*.

La familia de los insectos denominados comúnmente como *carcoma grande*, en su fase de larva se alimentan principalmente de la albura de maderas de coníferas, en estado seco o ligeramente húmedo. Estos practican galerías de forma elíptica de unos 3 a 9 mm las cuales presentan las caras ligeramente estriadas y se mantienen rellenas de un serrín basto compacto que las colmata, marcándose orificios de salida de dimensiones acordes con las de las galerías. Al transcurrir por la albura, próximas a la superficie, en algunos casos se aprecia su recorrido, antes de que se



produzca la salida del insecto al exterior, mostrando un ligero abombamiento de la fina capa que las recubre. Dadas sus dimensiones, en caso de abundantes reinfecciones durante un tiempo prolongado sin actuar, es posible que lleguen a disminuir de forma apreciable la sección de la pieza afectada.

La familia de los insectos denominados comúnmente como *carcomas* se alimentan en su fase de larva tanto de madera de albura como de duramen de especies de frondosas y de coníferas en estado preferiblemente seco, siendo muy sensibles a este aspecto, aunque pueden atacar también a la madera húmeda. Son muy abundantes los ataques a la madera que previamente se ha visto afectada por hongos xilófagos. Practican galerías circulares de diámetro comprendido entre 1 y 3 mm, con orificios de salida circulares de idéntico diámetro y restos de serrín granular fino (fig. 14-1). Dadas las dimensiones de las galerías, salvo reinfecciones muy abundantes y durante mucho tiempo, no suelen producir por si solos disminuciones significativas de la capacidad resistente de las piezas afectadas, si bien cuando su presencia es coincidente con la de hongos pueden darse casos de pérdida significativa de la sección útil de las piezas resistentes.

La familia de los insectos denominados comúnmente como *polillas* practican sus galerías en la madera seca (con humedad inferior al 18 %) de las especies frondosas. Las galerías tienen sección circular de diámetro aproximado de 1 mm, en las cuales depositan un resto de serrín de color amarillento claro, muy fino al tacto, parecido al de los polvos de talco. Dado fundamentalmente el escaso diámetro de las galerías, prácticamente nunca presentan un problema de afectación a la seguridad de las piezas, limitando sus efectos a los aspectos estéticos.

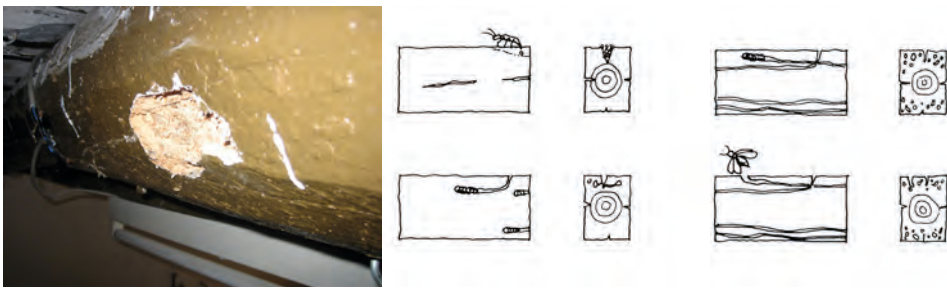


Fig. 14.1. En la foto, viga atacada por carcomas. En la cala se observa la sección de albura más blanda coincidente con la zona atacada, hasta el inicio de la zona más dura del duramen, que permanece intacta. En los gráficos, proceso del ataque de la carcoma en el interior de la viga, iniciado en la ovulación en el interior de la grieta, seguido de la excavación de galerías en estado larvario, y finalizado al cabo de algunos años con su salida como insecto perfecto.

Además de los insectos de ciclo larvario, el otro grupo de insectos xilófagos con potencial presencia y efectos en los edificios son las *termitas*, encuadradas en la familia de los isópteros. De los miles de especies de termitas que existen en el mundo, en nuestro entorno, para analizar los daños en construcciones, prácticamente se suelen considerar solo cuatro especies: dos que hacen su nido bajo tierra, la *Reticulitermes banyulensis* y la *Reticulitermes grassei*, que se encuentran extendidas por toda la península y las islas Baleares, y otras dos especies que pueden nidificar en la madera, que son la *Kaloterms flavicollis* (termita de madera húmeda), con presencia en las regiones mediterráneas, y la *Cryptotermes brevis* Waler (termita de madera seca), que se introdujo inicialmente en las islas Canarias y actualmente

se encuentra puntualmente en algunas ubicaciones peninsulares. A las termitas se las distingue también con la denominación de *insectos sociales*, porque los insectos no viven aislados, sino agrupados en conjuntos que pueden acoger a miles de individuos para las especies que anidan en la madera, y hasta millones en las que anidan en la tierra, todos ellos con funciones diferenciadas complementarias.

Todas las especies de termitas se alimentan de la celulosa de la madera. Como ya se ha mencionado anteriormente, las especies que más abundan son las *Reticulitermes*, que construyen su nido bajo tierra, en colonias que pueden llegar a ser de más de 1 millón de individuos. Desde estos nidos, denominados termiteros, acceden a los edificios preferentemente alimentándose de la parte interior húmeda y blanda de las maderas que se hallan en contacto con el terreno (pies derechos de las plantas inferiores, vigas de sótano en contacto con muros exteriores, marcos de carpintería que lleguen al suelo, etc.). Cuando no encuentran esta vía inmediata, pueden excavar galerías en materiales blandos hasta llegar a la madera a través de los morteros blandos de las juntas de fábrica, de los revestimientos de yeso, etc. En algunas ocasiones, para puentear por el exterior obstáculos demasiado duros (sillares, etc.), son capaces de crear conductos de sección tubular, de unos 8 mm de diámetro, con mezcla de materiales diversos, adosados al paramento, con el fin de circular por su interior manteniendo las condiciones para ellas necesarias de humedad alta y oscuridad. En algunas ocasiones, más frecuentemente en edificios temporalmente deshabitados, crean los accesos directamente desde el terreno a las cabezas de las vigas del techo mediante estos conductos adosados al paramento, como alternativa a la perforación de la obra existente.

Cuando acceden a la madera, las termitas se alimentan de la parte blanda, preferentemente situada en el interior y en estado húmedo. Esta forma de proceder provoca que la madera exteriormente no presente signos visibles de ataque, e interiormente pueda estar destruida, manteniendo únicamente incólume la capa exterior (fig. 14-2). La intensidad del ataque depende de las características propias de la especie (dureza, composición, taninos, etc.) y de las condiciones atmosféricas. En general, cuando la madera se encuentra húmeda, con humedad aproximadamente superior al 18 %, el ataque puede ser intenso y rápido. Para alimentarse eligen prioritariamente las piezas que poseen este conjunto de características, lo cual provoca que, en ocasiones, en agrupaciones de edificios, vayan desplazándose desde un edificio a los adyacentes enlazando zonas afectadas por la humedad (baños adosados, de unas cubiertas defectuosas a otras, etc.) (fig. 14-3).

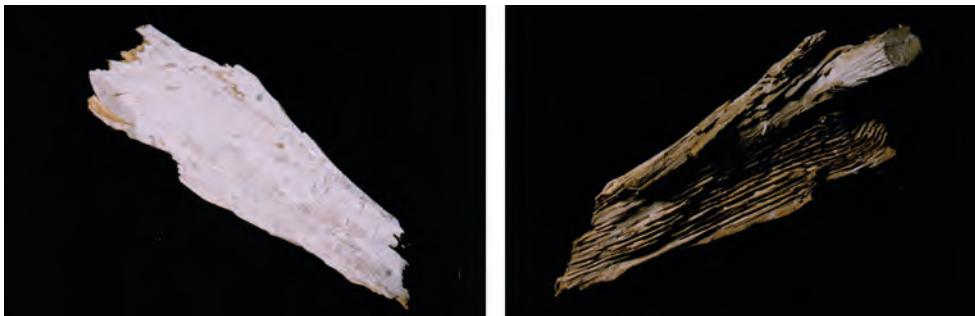


Fig. 14.2. Viga atacada por termitas. Pueden observarse las galerías interiores en la dirección de las fibras longitudinales y el perfecto estado de sus superficies exteriores.

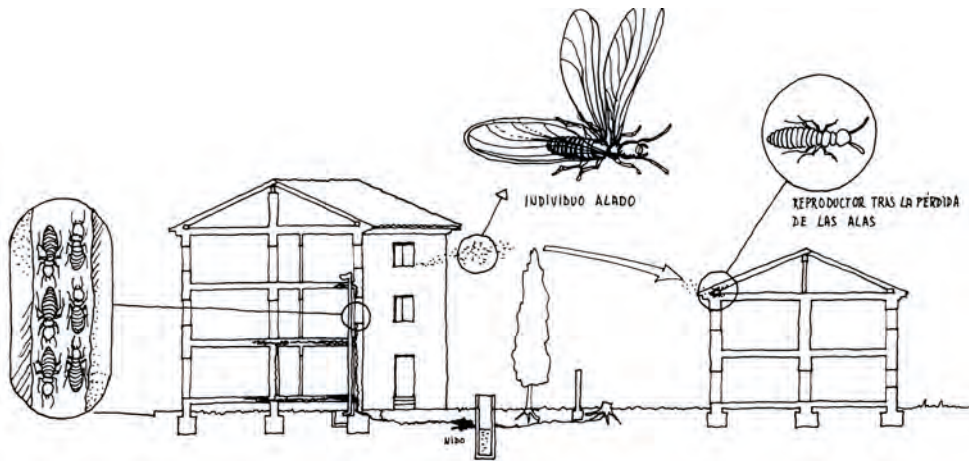


Fig. 14.3. Esquema del ciclo de vida de las termitas. Los insectos alados pierden al poco tiempo las alas y son los futuros reinas y reyes de otros termiteros.

La detección precoz de la presencia de las termitas es normalmente dificultosa por el hecho ya citado de discurrir por el interior de las piezas al huir de la luz por su condición de insecto fotóforo. De todas formas, a veces, en el proceso de excavación de las galerías interiores pueden producir pequeñas perforaciones puntuales del recubrimiento exterior, que rápidamente obturan con material similar al descrito para las galerías de acceso. La presencia de este material en la superficie de las piezas puede ser una señal indicadora de la conveniencia de iniciar una campaña su detección.

Pautas para la intervención

Interesa especialmente en la fase de diagnóstico conocer las zonas afectadas por los insectos y, en su caso, la profundidad en que las piezas han sido atacadas. La operación que se efectúa habitualmente para obtener un primer nivel de información es mediante punzonamiento o perforación de sus superficies con el fin de verificar, mediante la facilidad de penetración, las zonas carentes de dureza, que serán con toda probabilidad las de la zona atacada. De este primer análisis se decidirá la conveniencia de obtener niveles de información más precisos sobre las condiciones de humedad, identificación y características de la madera, agente causante, etc. El descubrimiento de la presencia de termitas, además de la localización del termitero, puede incluso aconsejar la disposición de detectores acústicos que capten el sonido emitido por la actividad de los insectos en las galerías excavadas, dada la dificultad de su visualización y la arbitraria disposición dentro de algunos edificios.

Los tratamientos a las maderas atacadas por insectos xilófagos pueden tener una finalidad preventiva o curativa. Será solo preventiva cuando el nivel del daño sufrido por las piezas se considere leve y solo requiera de una actuación para evitar la reiteración del ataque. En este caso, se suelen aplicar productos químicos en forma líquida de formulación y propiedades diversas mediante difusión, pulverización o pincelado, según sean las particularidades del ataque y las características de la

madera. Cuando el objetivo de la intervención es curativo, suelen aplicarse productos introducidos por inyección en la masa del material, con el fin de expulsar a los insectos presentes y colmatar los vacíos por ellos generados (fig. 14-4). De hecho, los procedimientos son similares a los aplicados para los ataques de hongos en los casos en que la afectación es moderada (ver [Anomalía 13](#)).

Cuando el ataque sea por termitas subterráneas y se descubra que aún es activo o exista la posibilidad futura de que se reproduzca, será preciso la disposición de barreras químicas en el terreno, en los muros y en la solera de la planta baja o en todos ellos, para impedir el paso de los insectos en su recorrido desde el termitero. En estos casos, también son de aplicación la disposición de cebos en la proximidad de la madera objeto de ataque con el fin de atraer a los insectos para que ingieran productos que los exterminen y poder monitorizar además la evolución de los ataques, para comprobar que estos van disminuyendo en intensidad, hasta su desaparición.



Fig. 14.4. Tratamiento curativo mediante desbastado superficial e inyección de producto químico en las vigas y viguetas de un forjado de madera afectado por carcomas. Obsérvense las perforaciones practicadas y la colocación de boquillas específicas cada 30 cm aproximadamente para la introducción del líquido inyectado. Como tratamiento complementario se suele dar una protección superficial mediante pincelado o pulverización.

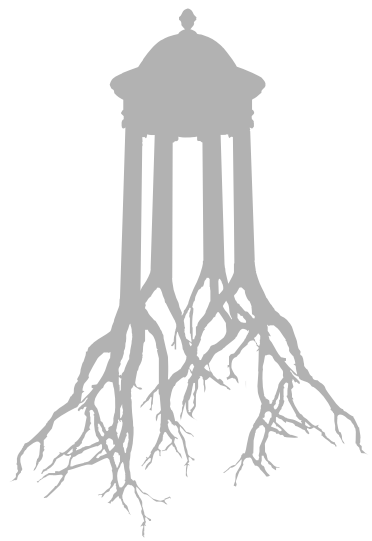
Complemento bibliográfico

AA. VV. (1995). *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (ap. II.4.3, pp. 48-53; ap. IV.13, pp. 123-146).

ABASOLO, A. (1991). "Degradación y recuperación de las estructuras leñosas". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 2, cap. 15, pp. 59-88).

ARRIAGA, F., PARAZA, F., ESTEBAN, M., BOBADILLA, I., GARCÍA, F. (2002). *Intervención en estructures de la madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM) (cap. 2 y 3, pp. 37-66; cap. 5 y 6, pp. 101-172; Anexo A, pp. 231-267).

MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio ed. (cap. 3, pp. 53-90; cap. 4, pp. 91-144).







ES3. ESTRUCTURA: FORJADOS, BÓVEDAS

- Anomalía 15** Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de viguetas de hormigón armado o pretensado
- Anomalía 16** Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados reticulares y losas macizas de hormigón armado
- Anomalía 17** Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de cerámica armada
- Anomalía 18** Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en vigas y forjados con viguetas de madera
- Anomalía 19** Grietas y otros daños debidos a la flexión diferida de los forjados en tabiquerías y pavimentos
- Anomalía 20** Grietas en techos entre bovedillas y viguetas del forjado
- Anomalía 21** Presencia de cemento aluminoso en viguetas y nervios de hormigón armado o pretensado de los forjados
- Anomalía 22** Corrosión de las armaduras de acero en forjados de cerámica armada
- Anomalía 23** Rotura y desprendimiento de bovedillas en forjados de cerámica armada o de viguetas metálicas o de hormigón
- Anomalía 24** Corrosión de los elementos resistentes metálicos en balcones, porches y galerías abiertas
- Anomalía 25** Grietas y deformaciones en bóvedas y arcos de piedra o ladrillo
- Anomalía 26** Grietas en las bóvedas cerámicas de escaleras
- Anomalía 27** Deterioro de las losas de piedra de los balcones y otros elementos volados



Anomalía 15

Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de viguetas de hormigón armado o pretensado

En las viguetas prefabricadas de hormigón armado, es decir, sin armaduras pretensadas, usadas como nervios resistentes en los forjados, los esquemas de daños coinciden con los ya expuestos para las vigas de canto del mismo material ([Anomalía 5](#)). La dificultad práctica estriba en que generalmente solo es posible visualizar el daño en el enyesado que recubre el paramento inferior de la vigueta, siendo necesario realizar calas para disponer de información sobre la presencia de fisuras en los cantos. Únicamente mediante calas laterales es posible verificar la presencia de roturas por esfuerzo de corte, o visualizar si las fisuras suben por encima de la línea neutra de la sección de la pieza.

Las viguetas con armaduras pretensadas en estado de servicio pueden también manifestar daños por flexión en el centro de las piezas y, aunque son poco frecuentes, lesiones por exceso de compresión en la parte superior central de los vanos. La presencia de fisuras por compresión excesiva o por exceso de cortante o torsión junto a los apoyos resultan especialmente peligrosas para la seguridad del forjado en este tipo de viguetas, y se aconseja la adopción de medidas cautelares. La combinación de viguetas pretensadas conectadas a jácenas planas de hormigón armado es propicia a generar roturas a torsión en las viguetas debidas a la deformación de flexión de la jácena a la que están unidas ([fig. 15-1](#)).



Fig. 15.1. Viguetas pretensadas con grietas próximas a la jácena plana. Abertura de calas para su detección en la sección de las piezas.



Pautas para la intervención

Si se trata solo de reparar las fisuras de las viguetas, si sus condiciones de resistencia son suficientes, es recomendable proceder a su sellado con inyección de productos de base epoxídica o de características equivalentes para devolver continuidad a las piezas dañadas y frenar los procesos de corrosión de las armaduras, de la misma forma que se ha expuesto para otros elementos de hormigón armado (fig. 15-2, foto izquierda).

Cuando las piezas requieren refuerzo, la técnica de intervención puede variar en función de muchos aspectos: el incremento resistente requerido, la factibilidad de pérdida de altura libre, la necesidad de contraflexar elementos, la mayor o menor escala de la intervención, la exigencia estética requerida, etc. Ello da pie a multitud de soluciones de refuerzo o sustitución funcional adaptables a estos requerimientos, tales como la adición de perfilería metálica (fig. 15-2, foto derecha), la disposición de bandas de fibra de carbono en las viguetas (fig. 15-3, foto izquierda y central), el macizado de los entrevigados para aumentar la resistencia a cortante del vano (fig. 15-3, foto derecha), la adopción de soluciones industrializadas dotadas de Documento de Idoneidad Técnica (DIT) (fig. 15-4), etc.

Cabe añadir que las flechas superiores a $1/250$ de la luz del vano medidas en este tipo de forjados requieren habitualmente de actuaciones de refuerzo que incrementen la inercia de su sección.



Fig. 15.2. En la foto izquierda, viguetas con boquillas de inyección colocadas, para proceder a la inyección de la resina epoxídica. En la foto de la derecha, refuerzo o sustitución funcional de viguetas mediante colocación de perfil metálico por su parte inferior.



Fig. 15.3. En la foto izquierda y central, disposición de bandas de fibra de carbono para el refuerzo de viguetas. El tablado apuntalado en el extremo de las viguetas evita el despegue de las bandas durante la polimerización de la resina de adherencia en los lugares de máximos esfuerzos rasantes (efecto spalling). En la foto de la derecha, refuerzo a los esfuerzos de corte mediante macizado de los entrevigados en los extremos de las viguetas pretensadas, junto a una jácena plana con inercia reforzada por el perfil HPN inferior.



Fig. 15.4. Mecanismo para proceder a la contraflecha controlada de la vigueta en un sistema de refuerzo industrializado, con el fin de asegurar su entrada en carga.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1991). *Recomanacions per a la teràpia de sostres unidireccionals de biguetes autoportants de formigó*. Institut de Tecnologia de l'Edificació de Catalunya (pp. 13-87).

AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmics*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (ap. 3.4, pp. 28-30; cap. 6, pp. 67-96).

AA. VV. (2010). "Sistemas de intervención". *Guía de intervención en estructuras de hormigón en edificios existentes*. Generalitat Valenciana (Anejo A-3, pp. 83-251).

ARAGÓN, J. (2004). "Métodos de refuerzo en forjados". *Inspección técnica diagnosis y reparación en forjados de hormigón armado*. Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia (ap. 2.4, pp. 63-70).

BAQUER, J. et al. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructuras de hormigón*. Institut d'Estudis Estructurals, Barcelona ((pp. 15-95)

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de forjados". *Rehabilitar con acero*. Publicaciones APTA (cap. 7, ap. 7.5.3., pp. 358-366).



Anomalia 16

Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados reticulares y losas macizas de hormigón armado

Los daños por efecto de la flexión que suelen visualizarse en los forjados reticulares o de losa maciza de hormigón armado, se manifiestan en forma de grietas en la parte inferior central de los vanos en las zonas de máximos momentos flectores positivos. También se forman en las partes superiores extremas de los vanos, en las zonas próximas a las líneas imaginarias que unirían pilares contiguos en las zonas de máximos momentos negativos (fig. 16-1), si bien estas últimas no suelen ser visibles dado que el pavimento lo impide. Las lesiones pueden aparecer a lo largo de un dilatado periodo posterior a la puesta en carga de los forjados, durante la fase de fluencia del hormigón, al aumentar progresivamente su deformación por flexión. La anchura de las fisuras es decreciente en sección y no suelen alcanzar la línea neutra del elemento.

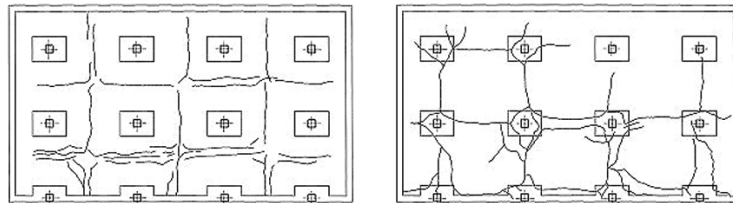


Fig. 16.1. Esquemas típicos de fisuración debidos a la sollicitación de momentos flectores. A la izquierda, en centros de vano; a la derecha, coincidiendo con las líneas de pilares, enlazándose en torno a los pilares. En ambas ubicaciones son coincidentes con la localización de los momentos positivos y negativos máximos respectivamente.

Las lesiones por efecto de los esfuerzos cortantes siguen los mismos esquemas que los enunciados para los pórticos de hormigón armado, siendo con frecuencia solo visibles en los cantos de las losas o en los nervios de los forjados reticulares cuando se extraen las bovedillas, si las hay. Pueden presentarse casos de roturas originadas por las denominadas tensiones de *cortante-flexión* o *tensión combinada*, con roturas de los nervios que se prolongan por la capa de compresión marcando grietas que circundan el macizado de los ábacos en el caso de los forjados reticulares (fig. 16-2).

Las roturas denominadas de punzonamiento provienen de las tensiones de corte concentradas alrededor de los pilares, que en los forjados planos obligan a armados específicos para su absorción. Suelen presentarse de forma brusca en momentos

posteriores a la puesta en obra del elemento, y han originado espectaculares situaciones de colapso generadas precisamente por el corto o nulo periodo de preaviso. El esquema de fisuración, en los casos en que es posible su visualización previa al colapso, marca la separación del forjado con una familia de grietas concéntricas alrededor del pilar acompañada de otras radiales por la cara superior del forjado y una grieta coincidente con el perímetro del encuentro pilar-forjado por la cara inferior, o próxima a él. En sección, presenta la inclinación a 45° típica de las roturas por el esfuerzo de corte (fig. f6-3 y fig. 16-4).

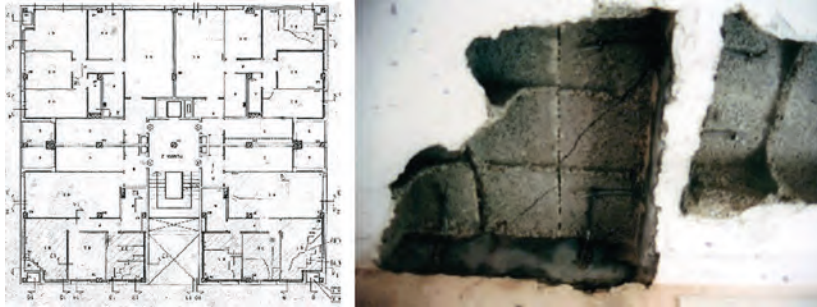


Fig. 16.2. Planta de un forjado reticular con un esquema de fisuración por las tensiones de "cortante-flexión". En la foto, detalle de la rotura en diagonal del casetón que recubre la chapa de compresión entre los nervios, en la zona anexa al macizado del capitel.



Fig. 16.3. Esquema en planta y sección de una rotura por punzonamiento en torno a un pilar. La fotografía avala el esquema de la fractura en el plano superior del forjado.



Fig. 16.4. Colapso por punzonamiento de un forjado reticular en un edificio escolar. En la foto derecha, visión de la fractura por el paramento inferior del forjado, en el perímetro del pilar.



Las fisuras debidas a la torsión se presentan habitualmente junto a los pilares laterales de los forjados y están originadas por las sollicitaciones derivadas de la flexión del vano adyacente al pilar, que obligan al giro de dicho elemento y marcan, en el borde lateral del forjado, una familia de fisuras de corte a 45° (fig. 16-5).

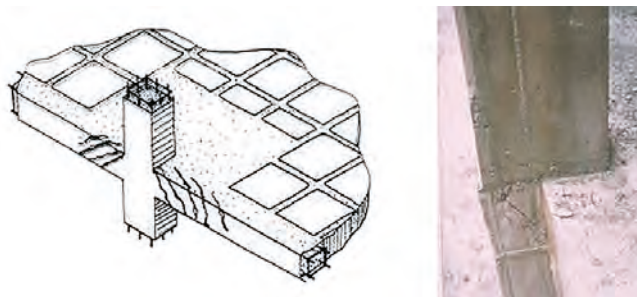


Fig. 16.5. En el gráfico, esquema de fisuración típico en un forjado sometido a esfuerzos de torsión. En la foto, grieta en el pilar generada por el giro del forjado a consecuencia del colapso por punzonamiento de algunos pilares en el edificio de la fig. 16-4.

Pautas para la intervención

En general, la presencia de grietas en el hormigón armado requiere de una diagnosis previa basada en su localización con referencia a los diagramas de esfuerzos y la verificación del proceso de cálculo que se siguió para su dimensionado y armado. En todo caso, cabe mencionar que cuando sean perceptibles grietas debidas al punzonamiento del forjado u otras situaciones en que la inspección inicial visual sugiera situaciones de colapso estructural, tales como ciertas fracturas por corte o torsión, será preciso adoptar medidas cautelares en forma de apuntalamiento preventivo o de otro tipo.

A partir de los datos y los resultados obtenidos del seguimiento y análisis posteriores, se deberá elegir entre la gran gama de posibles intervenciones a realizar. Estas pueden ir desde el simple sellado e inyección con productos de base epoxídica, o de prestaciones equivalentes, hasta la aplicación de alguna de las técnicas de refuerzo para la reparación de elementos estructurales de hormigón armado ya expuestas en la [Anomalía 5](#), tales como la adición de bandas o tejidos de fibra de carbono, que es el recurso más aplicado en la actualidad, también en las tipologías estructurales objeto de la presente Anomalía.

Cuando no se requiera una actuación de refuerzo estructural, se deberá verificar que las grietas no superen la anchura a partir de la cual se considera factible el inicio de procesos de corrosión de las armaduras. Estas anchuras pueden variar entre 0,1 y 0,4 mm, según establece la instrucción del hormigón en función de las condiciones del tipo de ambiente en que se halle. Finalmente, otro aspecto a considerar es la conveniencia de verificar la flecha del forjado, la cual, al margen del procedimiento de cálculo seguido en el proyecto del edificio, varía con el tiempo en función de la fluencia experimentada por el hormigón; se recomienda que cuando la flecha del forjado es superior a 1/250 de la luz debe considerarse la conveniencia de su refuerzo.



Complemento bibliográfico

AA. VV. (2010). "Sistemas de intervención". *Guía de intervención en estructuras de hormigón en edificios existentes*. Generalitat Valenciana (pp. 68-251).

BARRERA, H., HELENE, P. (2003). "Procedimientos de refuerzo". *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón*. Red REHABILITAR, CYTED (cap. 8, ap. 8.11, pp. 416-428).

BAQUER, J. et al. (2021). *La fibra de carbono en refuerzo de estructuras de hormigón*. Institut d'Estudis Estructurals, Barcelona (pp. 15-95)

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 27-48).

REGALADO, R. (1991). "Patología básica de las estructuras con forjados reticulares". *Los forjados reticulares*. CYPE Ingenieros (Parte 5ª, pp. 215-232).



Anomalía 17

Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en forjados de cerámica armada

Los forjados de cerámica armada se denominan habitualmente con el apelativo abreviado de *forjados cerámicos*, y se identifican con la característica común de visualizarse solamente material cerámico cuando se observa su paramento inferior. Inicialmente, en España, su aplicación fue una respuesta a la escasez de cemento y acero a lo largo de los años 40 y 50 del pasado siglo. Existen muchos tipos diferentes de forjados cerámicos según sea la función de la cerámica, como material que solo sirve para aligerar y dar forma a los nervios o como material que además se le confía una función resistente de las tensiones de compresión en las secciones con esta sollicitación (fig. 17-1). En algunos tipos, los nervios se suministraban ya conformados desde las fábricas. En otros, los nervios se conformaban a pie de obra uniendo con mortero piezas cerámicas, disponiendo las armaduras y rellenándolas con hormigón de árido pequeño o mortero que podían contener como conglomerante cemento aluminoso. A veces, eran placas enteras formadas por nervios y revoltones aligerantes las que se preformaban a pie de obra y se disponían enteras en su ubicación definitiva, y podían ir provistas de capa de compresión no armada (fig. 17-2). Muchos de los modelos existentes requerían cantos más delgados que sus equivalentes con viguetas prefabricadas de hormigón armado, que podían presentar una mayor deformación.

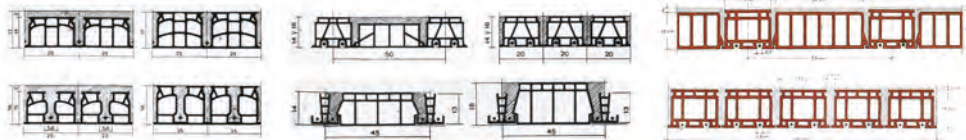


Fig. 17.1. Tipos diversos de forjados cerámicos. La mayor cantidad de material cerámico en la parte superior es un indicador de su función resistente a las tensiones de compresión.



Fig.17-2. Formación de placas conformadas a pie de obra con casetones y nervios cerámicos. Transporte y posicionado de las placas.

La interpretación de los daños en forjados cerámicos requiere de un conocimiento previo de las características del forjado en cuestión y del tipo de conexión con el resto de la estructura del edificio. Con esta información, se podrá equiparar su comportamiento mecánico al de un forjado de viguetas apoyadas o semiempotradas cuando solo se asigna función resistente a los nervios de mortero u hormigón armado. En cambio, en los forjados en que se asigna función resistente a compresión a la cerámica, habrá que considerar la especificidad de su forma para resistir las tensiones en relación con los forjados anteriormente citados. En todo caso, las condiciones concretas de ejecución *in situ* de cada forjado pueden tener una importancia relevante en su comportamiento, en especial las condiciones de adherencia entre la armadura y el mortero u hormigón, mermada a veces por la insuficiente colmatación del volumen de los nervios en el proceso de vertido de dichos materiales. El ejemplo expuesto en la [fig. 17-4](#) ilustra en un edificio concreto esta problemática. Cabe hacer mención también de la abundante casuística debida a la pérdida de sección útil de las armaduras originada por su corrosión, a la que se hace referencia en la [Anomalía 22](#).

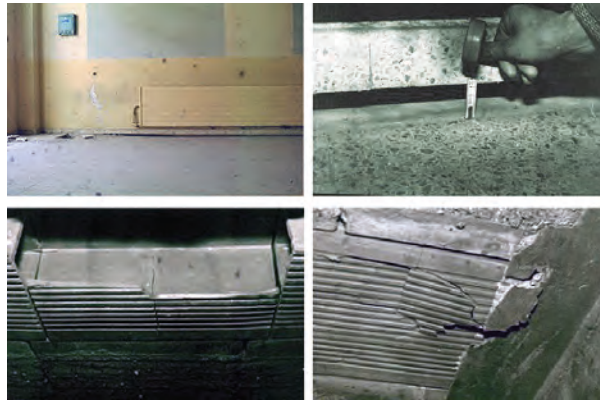


Fig. 17.3. En las dos fotos superiores, visión de la magnitud de la deformación súbita de un forjado cerámico colapsado. En las dos fotos inferiores, el mismo forjado visto por la cámara sanitaria, mostrando la grieta a flexión en el centro del vano y el aplastamiento junto a los apoyos en las zonas comprimidas.

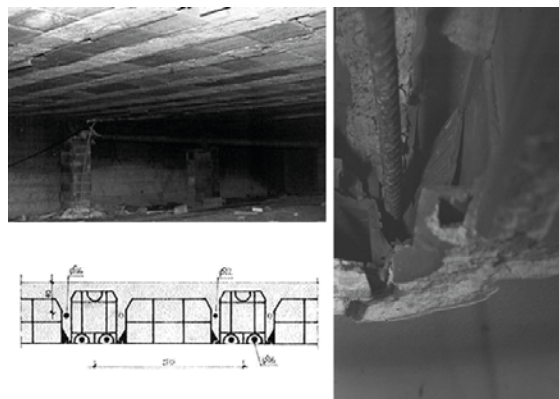


Fig. 17.4. Sección del forjado de la [fig. 17-3](#) con indicación de la armadura de negativos descolocada, caída, debido a la carencia de hormigón en el nervio, como puede observarse también en la foto de la derecha.



Pautas para la intervención

La forma de reparación dependerá de las características del forjado a reforzar y de la causa generadora del daño. No es posible establecer unas pautas generales de aplicación específicas ya que existe un numerosísimo abanico de tipos de forjado cerámico. Cuando el conocimiento del tipo de forjado específico no es factible o no le es aplicable un procedimiento de cálculo suficientemente preciso, hay que recurrir, en la fase de análisis, a pruebas de carga *in situ* independizando un sector representativo de sus condiciones resistentes. Cuando estas se evalúan o se consideran insuficientes, la forma de intervención *más habitual suele ser la sustitución funcional de los nervios de hormigón armado por perfiles metálicos contactados por su parte inferior o la disposición de parteluces*. Estas son también las soluciones adoptadas generalmente cuando la deformación del forjado supera el valor considerado límite para la flecha activa, comprendido entre 1/500 y 1/300 de la luz del vano, en función del tipo de tabiquería y de las consideraciones de confortabilidad y apariencia de la obra según el Código Técnico de la Edificación español (CTE).

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmics*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

BERGÓS, J. (1953). "Techos de cerámica armada". *Materiales y elementos de construcción*. Ed. Bosch (cap. X, pp. 383-387).

MINISTERIO DE LA GOBERNACIÓN. (1941). *Normas para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado*. Dirección General de Arquitectura, Ministerio de la Gobernación.

SEGUÍ, V. (1995). *Recomanacions per al reconeixement, la diagnosi i la teràpia de sostres ceràmics*. Institut de Tecnologia de l'Edificació de Catalunya (ITEC), Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Direcció General d'Arquitectura i Habitatge.



Anomalía 18

Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en vigas y forjados con viguetas de madera

La madera es un material que resiste mucho más las tracciones en la dirección de las fibras longitudinales del tronco que en dirección transversal. Esta anisotropía relativiza su comportamiento como material elástico homogéneo y, en consecuencia, sus modelos de fractura. Aun así, se presentan casos de rotura siguiendo parcialmente dichos modelos, mostrando grietas en la parte inferior de las viguetas después de fuertes deformaciones de fluencia plástica. Estas aparecen en el centro del vano, con anchura decreciente desde las fibras inferiores a las superiores (fig. 18-1). De todas formas, el modo más habitual de fractura por la acción de las cargas verticales se presenta en forma astillosa siguiendo casi siempre, total o parcialmente, las direcciones de las fibras longitudinales del material (fig. 18-2), siempre después de fuertes deformaciones de flexión que avisan con mucha antelación del riesgo de su colapso. Cabe hacer mención que en la [Anomalía 13](#) y la [Anomalía 14](#) se hace referencia a otras posibles causas relacionadas con las acciones bióticas que pueden conllevar el colapso de dichos elementos de madera.



Fig. 18.1. Fractura por la parte inferior y central de algunas de las viguetas de un forjado, en la zona que experimentó mayores tensiones de tracción.



Fig. 18.2. Ejemplos de rotura astillosa en vigas de madera.

Las aberturas de grosor homogéneo que aparecen en la dirección de las fibras longitudinales de las vigas y viguetas, o bien en los elementos que componen las cerchas de madera, (fig. 18-3) no las originan las tensiones debidas a las cargas, sino la retracción acaecida en el periodo de secado del material, ya se produzca antes o después de la colocación de las piezas en la obra. Estas grietas son denominadas fendas. El hecho de que sigan la dirección de las fibras longitudinales puede minimizar sus efectos en la reducción de la resistencia de la pieza, como lo demuestra el hecho de que muchas veces no van acompañadas de la deformación por flexión del elemento. No obstante, su presencia puede representar una reducción importante de su capacidad resistente cuando afectan a más de un 20 % de su sección.



Fig. 18.3 Cercha y biga de madera con presencia de fendas longitudinales originadas en el periodo de secaje.

Pautas para la intervención

La presencia de roturas en forma de grietas transversales o en forma astillosa en la sección de las vigas o viguetas obliga casi siempre a la sustitución *física o funcional de las piezas afectadas, y en todo caso a su refuerzo. Como ya se ha apuntado anteriormente, en las piezas afectadas por fendas, cuando la reducción de la sección útil que se genera supera el 20 %, se considera conveniente verificar sus condiciones resistentes, en especial cuando la pieza se vea afectada por flexión. La presencia de nudos saltadizos de tamaño equivalente aconseja adoptar la misma prevención. Como deformación máxima de referencia, algunas fuentes bibliográficas consideran que forjados con flecha total superior a 1/200 de la luz del vano requieren de intervenciones de refuerzo. El Código Técnico de la Edificación español (CTE) establece como flecha activa límite valores comprendidos entre 1/500 y 1/300, en función de las características de deformabilidad de las tabiquerías y los pavimentos, fundamentalmente. De todas formas, para los forjados y vigas*



de madera, como se expone también en la [Anomalía 19](#), algunas fuentes admiten valores de flecha total *última* de hasta 1/150 de la luz del vano, dada su mayor capacidad de deformación y, en consecuencia, de aviso, antes de producirse el colapso del forjado.

Las técnicas a utilizar para reparar o sustituir las vigas o los forjados con viguetas de madera son muy abundantes. Para intervenciones individualizadas en algunos elementos las técnicas más utilizadas son las perfilierías metálicas clásicas ([fig. 18-4](#), [fig. 18-5](#)), las soluciones industrializadas de refuerzo (preferiblemente las que dispongan de Documento de Idoneidad Técnica, DIT), o el uso de la fibra de carbono o de morteros epoxídicos conectados con fibra de vidrio al elemento a reforzar, ya sea ubicando el refuerzo por la parte inferior, por los laterales o por la parte superior ([fig. 18-6](#)).



Fig. 18.4 En la foto de la izquierda, refuerzo de una viga de madera con un perfil metálico UPN. En la foto de la derecha, sustitución de algunos elementos del forjado utilizando también perfiliería metálica.

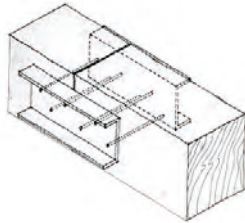


Fig.18-5. Refuerzo o sustitución funcional clásica de una viga de madera con perfiles metálicos presionados entre sí por las caras laterales con espárragos roscados.



Fig. 18.6. En el gráfico izquierdo y la foto, refuerzo o sustitución funcional de vigas o viguetas de madera con un sistema industrializado de chapa plegada de acero. El contacto se asegura relleno con mortero tixotrópico la interfase entre la vigueta y la chapa de refuerzo. En el gráfico de la derecha, refuerzo por la parte superior con mortero epoxídico conectado a la viga o vigueta con cilindros de fibra de vidrio.



Cuando la intervención abarca un tramo entero de forjado, se puede optar, también, por la adición por su parte superior de capas de compresión conectadas a las viguetas y, en ciertos casos, a los muros circundantes. Dichas capas pueden estar formadas por losetas de hormigón armado de grosor variable en función de la exigencia resistente, o bien por tablonetes de madera o madera contrachapada o contralaminada clavada a las viguetas (fig. 18-7). La conveniencia de contraflexar el forjado en el proceso de disposición del refuerzo es función de las condiciones de uso o de las hipótesis de cálculo efectuadas para su dimensionado.

Otra posible solución a adoptar, si las condiciones de carga de los muros paralelos a las viguetas lo permiten, es la disposición de vigas *parteluces* que provean de apoyo intermedio o a los tercios a las viguetas del forjado (fig. 18-8).

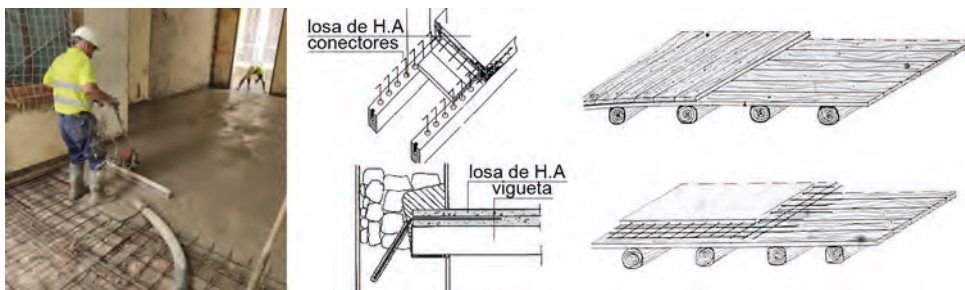


Fig. 18.7. En la foto y gráfico derecho inferior, superposición de chapas de hormigón armado conectadas a las viguetas de madera en tramos de forjado de insuficiente resistencia. En los gráficos del centro, ejemplo de conexión de la chapa a los muros laterales y a las viguetas. En el gráfico superior derecho, esquema de superposición de enrastrelado transversal de madera para dotar de mayor rigidez al forjado.



Fig. 18.8. En el gráfico y la foto superior, disposición de perfiles metálicos transversales a las viguetas de madera y apoyados en los muros transversales. En las fotos inferiores, los parteluces metálicos de refuerzo apoyan a su vez en vigas apoyadas en los muros de carga coincidentes con los de los forjados.



Complemento bibliográfico

AA. VV. (1995). *Manual de diagnosi, patologia i intervenció en estructures de fusta*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. II, pp. 45-56; cap. IV, pp.119-146).

ARRIAGA, F., PARAZA, F., ESTEBAN, M., BOBADILLA, I., GARCÍA, F. (2002). *Intervención en estructuras de la madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM). (cap. 2 y 3, pp. 37-66; cap. 5 y 6, pp. 101-172).

ABASOLO, A. (1991). "Degradación y recuperación de las estructuras leñosas". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 2, cap. 15, pp. 59-88).

MAÑÀ, F. (1983). *Recomanacions per al reconeixement, la diagnosi i la terapia de sostres de fusta*. Institut de Tecnologia de l'Edificació de Catalunya (ITEC) (partes 1 y 2, pp. 13-51).

MARTINEZ SORIANO, F., MARTINEZ SIERRA, E. (2019). *Análisis y cálculo de refuerzo de forjados de madera: el CLT como alternativa al hormigón armado*. Monografías del IETcc N. 431, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio ed. (cap. 1, pp. 13-25; cap. 4, pp. 91-144).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma (Parte Seconda C1; Strutture orizzontali, Solai in legno, pp. 73-87).



Anomalía 19

Grietas y otros daños debidos a la flexión diferida de los forjados en tabiquerías y pavimentos

Las deformaciones diferidas de los forjados y vigas, especialmente cuando estos son de madera u hormigón, pueden llegar a provocar la fisuración de los tabiques que se hallan sustentados o contactados con ellos. Esta casuística es de mayor incidencia cuando dichos tabiques están contruidos con piezas cerámicas u otros materiales de elevada rigidez, ya que no pueden adaptarse sin fisurar a las deformaciones que experimentan los forjados. Los esquemas de fisuración más habituales se muestran en las [fig. 19-1](#), [fig. 19-2](#) y [fig. 19-3](#). En todos ellos, la inclinación de las grietas en los cerramientos verticales permite deducir las zonas de mayor descenso del forjado. También influye el hecho de que el cerramiento vertical se halle comprimido por la mayor flexión del forjado superior respecto al inferior, o a la inversa. La acumulación de cargas sobre los forjados de las plantas inferiores y las mayores deformaciones de flexión que esta situación comporta sobre dichos forjados facilitan su fisuración, que en situaciones extremas puede incluso generar el colapso del cerramiento.

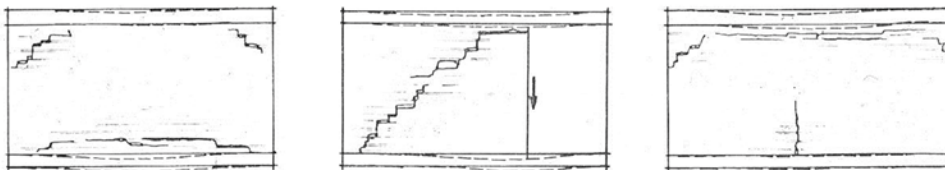


Fig. 19.1. A la izquierda, esquema de fisuración de una tabiquería cuando la deformación en el centro del vano del forjado inferior es mayor que la del superior. En el gráfico central, la inclinación de la rotura es debida a la deformación generada por la carga del cerramiento transversal. A la derecha, daños originados por la mayor deformación en la parte central del forjado superior, que aplasta el cerramiento por arriba, mientras la grieta vertical es debida a la flexión del propio cerramiento, al perder el apoyo en la parte central por la flexión del forjado inferior.



Fig. 19.2. Ejemplos de rotura de tabiquerías originadas por la flexión del forjado y la consiguiente pérdida de apoyo de su parte central.

Cabe advertir que los esquemas de fisuración generados por esta causa pueden confundirse con los formados por ciertas situaciones de asentamiento de la cimentación (ver Anomalía 28), siendo necesario para su distinción detectar la relación entre el lugar, la inclinación de las fisuras y los elementos estructurales. También resulta de interés relacionar las zonas con mayor descenso señaladas por las grietas con la localización de cargas verticales concentradas (fig. 19-1, gráfico central). Los descuidos en las carpinterías de las puertas y ventanas apoyados en los forjados del edificio son también posibles síntomas de estos movimientos, que es preciso distinguir de los originados por los movimientos del terreno.

Las deformaciones diferidas de los forjados también pueden romper o abrir las juntas de los pavimentos, ya sean continuos o formados por piezas de terrazo o cerámicas, en los tramos coincidentes con las zonas traccionadas del forjado. En cambio, en sus zonas comprimidas, se puede dar el levantamiento de las piezas ubicadas en los centros de los vanos (ver Anomalía 58) (fig. 19-4).



Fig. 19.3. Esquema y ejemplos de fisuración generados por la flexión del tramo o tramos en voladizo de los forjados inferiores, originada en proporción variable por la acumulación de cargas transmitidas por las fachadas.

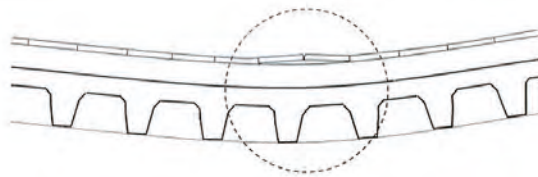


Fig. 19.4. Esquema del levantamiento de las piezas originado por la flexión del forjado en el centro del vano.

Con el fin de prever la aparición de los daños descritos, para edificios de nueva construcción el Código Técnico de la Edificación español (CTE) establece valores límite de las deformaciones por flexión de los forjados. En general, para todos los tipos de forjados, sea cual sea su material y tipología, la flecha activa debe mantenerse inferior $1/500$ de la luz del vano cuando la tabiquería o el pavimento es muy frágil, o bien inferior a $1/400$ cuando estos elementos admiten mayor deformación sin fisurarse, tal como sucede con los tabiques cerámicos ordinarios o los pavimentos de piezas de gres cerámico. En las plantas que no haya tabiquerías y los pavimentos sean muy flexibles, la flecha se admite que sea del orden de $1/300$ de la luz del vano. Cabe tener presente, por otra parte, que en este tipo de forjados la flecha activa suele ser del orden del 70 - 80 % de la flecha total, y que la flecha total, suma de la flecha elástica instantánea y la flecha de fluencia bajo carga permanente, aun



siendo variable en función de múltiples factores, puede alcanzar valores comprendidos entre 1,5 y 2,5 veces el valor de la flecha elástica instantánea.

Para los forjados con vigas y viguetas de madera, algunas fuentes bibliográficas admiten valores superiores de deformación en comparación con los anteriores debido a su mayor capacidad de deformación plástica en la fase anterior a su colapso. Es por este motivo que se proponen valores *últimos* de hasta 1/150 de la luz del vano, los cuales responden más a apreciaciones empíricas que a planteamientos analíticos, considerando que los valores de fluencia del material pueden ser 10 veces superiores a los de su deformación instantánea bajo cargas verticales.

Pautas para la intervención

Por lo que se refiere a la reparación de las lesiones en los cerramientos afectados por estos movimientos, que es lo que se trata en esta Anomalía, cabe practicarla solo cuando se tiene suficiente seguridad que el proceso de deformación de fluencia de los forjados ya no genera deformaciones capaces de reiterar la aparición de fisuras y que no son previsibles aumentos de sobrecarga en el futuro. En todo caso, la certidumbre que puede llegar a tenerse de su deformación final de fluencia difícilmente será absoluta, dependiendo de los materiales y tipo de forjado, de su tiempo de servicio y de su relación canto-luz. A modo orientativo, cabe establecer en periodos superiores a los 5 años el tiempo de estabilización requerido en los forjados de hormigón de edificios residenciales habituales, mientras que en forjados con viguetas o soportados por vigas de madera en edificios antiguos se puede suponer que el periodo de fluencia ya ha finalizado, siempre que no se hayan aumentado en los últimos años sus condiciones de carga.

Las deformaciones en los forjados originadas por su excesiva flexibilidad pueden llevar a la transmisión de cargas de planta a planta a través de los cerramientos; en estos casos, en función de la magnitud de los daños, de las situaciones de inestabilidad generadas y de la factibilidad de futuras deformaciones de fluencia, es conveniente proceder a intervenciones más o menos generalizadas. Estas situaciones pueden requerir, en ocasiones, del refuerzo de los forjados con perfiles metálicos por la parte inferior o de la adición de capas de compresión armadas por la parte superior con el fin de aumentar su inercia (fig. 19-5).



Fig. 19.5. Refuerzo con perfiles metálicos de los tramos en voladizo del primer forjado que soportan las cargas transmitidas a través de las fachadas.



Otra de las soluciones adoptadas es el desatraque de las tabiquerías para eliminar las acumulaciones de carga (fig. 19-6, foto izquierda). Si la casuística se acota a la reparación de grietas ya pasivas en las tabiquerías, suele procederse a la disposición de bandas de mallas de fibra de vidrio embebidas entre capas de enyesado como método de sellado de las grietas (fig. 19-6, foto central y gráfico).



Fig. 19.6. En la foto de la izquierda, desatraque de la tabiquería antes de proceder a su sellado con material elástico. En la foto del centro, extracción del enyesado resiguiendo una grieta antes de proceder a su sellado con malla de fibra de vidrio embebida en el yeso de reposición, según se muestra esquemáticamente en el gráfico.

Complemento bibliográfico

BARRERA, H., HELENE, P. (2003). "Procedimientos de refuerzo". *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón*. Red REHABILITAR, CYTED (cap. 8, ap. 8.11, pp. 416-428).

GONZÁLEZ VALLE, E. (1982). "La flexibilidad de los forjados de hormigón armado: evaluación de la situación actual". *Revista Informes de la Construcción*, núm. 343 (pp. 5-12).

IETCC (1970). *Obras de fábrica, p.i.e.t. 70*. Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja. Instituto Eduardo Torroja ed.

MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio ed. (cap. 1, pp. 13-25).



Anomalía 20

Grietas en techos entre bovedillas y viguetas del forjado

Estas grietas se marcan en el enyesado de los techos de los forjados construidos con viguetas de hormigón armado o pretensado y bovedillas cerámicas o de hormigón ligero, coincidiendo con las líneas de cambio de material entre las viguetas y las bovedillas (fig. 20-1). Generalmente, son de directriz rectilínea y anchura bastante homogénea, pudiendo aparecer aisladas o en diversas juntas. Son mucho más frecuentes en los forjados sin capa de compresión armada, cuando su monolitismo es escaso y las deformaciones de los dos materiales frente a la sollicitación de las sobrecargas de uso tienden a diferenciar su deformación por flexión. Análogamente, la simple diferencia de dilatación térmica o reológica entre ambos materiales puede ser motivo suficiente para su formación. Uno de los lugares preferentes en que aparecen es junto en los tramos de forjado con cambio en la luz entre los apoyos de las viguetas, al sumarse a las anteriores tensiones las debidas a la diferencia de flechas entre las viguetas de los dos tramos de forjado.

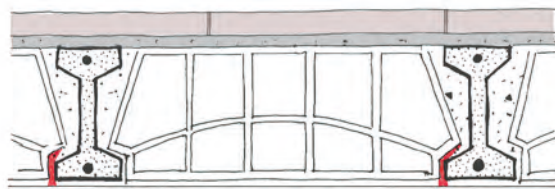


Fig. 20.1. Localización de las fisuras coincidiendo con la localización de los cambios de material entre vigueta y revoltón.

Pautas para la de intervención

Habitualmente sus consecuencias son solo visuales, pero hay que verificar que el daño no derive o provenga de una problemática de escasez de apoyo de las bovedillas y, en consecuencia, entrañe un potencial peligro de desprendimiento de alguna o algunas piezas. En ausencia de esta situación, la restitución con yeso de la zona fisurada, interponiendo bandas con mallas de fibra de vidrio o material similar suele



ser el recurso habitualmente adoptado, aunque no asegura la resolución definitiva del problema.

Complemento bibliográfico

MUÑOZ HIDALGO, M. (1994). "Flecha en viguetas". *Diagnosis y causas en patología de la edificación*. Ed. por el autor (cap. 7, ap. 6, pp. 324-332).



Anomalía 21

Presencia de cemento aluminoso en viguetas y nervios de hormigón armado o pretensado de los forjados

El cemento denominado aluminoso fue utilizado en la fabricación de viguetas armadas y pretensadas a lo largo del periodo comprendido aproximadamente entre los años 1950 y 1970, aunque puede estar presente también en los nervios de algunos tipos de forjados cerámicos y en edificios construidos en épocas posteriores a dicho periodo. Se caracterizaba por la rapidez de su fraguado, con lo cual acertaba los plazos de fabricación y suministro de los productos industriales en que se aplicaba. Con el tiempo, se ha constatado que los elementos en que se utilizó son susceptibles de mermar sus características mecánicas cuando dicho material se halla expuesto a condiciones de temperaturas superiores a los 20° y a ambientes *húmedos*, o directamente en contacto con el agua líquida. Los efectos inducidos por este fenómeno pueden repercutir en una pérdida de resistencia del hormigón, de magnitud muy variable, y en un aumento de su porosidad, que acelera los procesos de su potencial carbonatación y, con ellos, la pérdida de protección básica de la armadura, propiciando su más rápida oxidación. Estas consecuencias son tanto más acusadas cuanto menor es la cantidad de cemento y mayor la relación agua/cemento del mortero u hormigón utilizado en la fabricación de las viguetas. Los procesos de transformación química del cemento aluminoso pueden prolongarse en plazos de tiempo superiores a los 10 años e inducen a la recristalización del material, que pasa del sistema hexagonal inicial al sistema cúbico, generando en las condiciones apuntadas los efectos nocivos expuestos.

La presencia de cemento aluminoso suele detectarse por el color marronoso que generalmente se percibe en las viguetas, tanto más claramente marcado cuanto menor es la cantidad de cemento y mayor la relación agua/cemento en el material (fig. 21-1, 21-2). La corrosión temprana de las armaduras por la carencia de protección alcalina suele ser otra de las características perceptibles en las viguetas, que acompaña el cambio de color.

La presencia de viguetas con contenido de cemento aluminoso en un edificio puede ser sistemática o aleatoria. Es factible que lo sean todas las viguetas de un edificio, pero también puede ocurrir que lo sean solo las de algunas plantas o, incluso, que lo sean solo algunas de algunas plantas. En todo caso, es preciso priorizar la inspección en los forjados de las plantas bajo cubierta y en aquellos en estado de escasa o nula ventilación, tales como los forjados de las cámaras sanitarias y las zonas que coinciden con los locales húmedos, a veces escondidos por falsos techos.



Fig. 21.1. Ejemplos de viguetas fabricadas con cemento aluminoso con síntomas visibles por su coloración marronosa de su proceso de transformación química.



Fig. 21.2. Viguetas con contenido de cemento aluminoso y con claros síntomas de corrosión de sus armaduras iniciados a los pocos años de su puesta en obra.

Pautas para la intervención

Las intervenciones deben ir precedidas necesariamente de una inspección previa del edificio que determine el alcance de la presencia de elementos con cemento aluminoso y de su grado de afectación en forma de reducción de resistencia mecánica o desprotección de sus armaduras. En muchos casos, en especial cuando se detecten daños por corrosión de las armaduras o descohesión del material más afectado por la humedad, se requerirá de la realización de ensayos y pruebas de laboratorio para caracterizar con fiabilidad el material, y, en su caso, el grado de transformación del hormigón y su porosidad. En función de los resultados obtenidos, la intervención puede variar desde la recomendación de llevar a cabo inspecciones periódicas en el edificio hasta el refuerzo con vigas parteluz, generalmente metálicas, o la sustitución funcional total o particularizada a las viguetas afectadas dañadas, aplicando algunas de las técnicas expuestas sintéticamente en la [Anomalía 15](#). Han sido abundantes los casos de edificios con presencia de viguetas aluminosas con requerimiento de intervención en que se han aplicado sistemas industrializados de refuerzo o sustitución funcional avalados con Documento de Idoneidad Técnica (DIT), que equivale a un sello de calidad para productos no tradicionales ([fig. 21-3](#)).

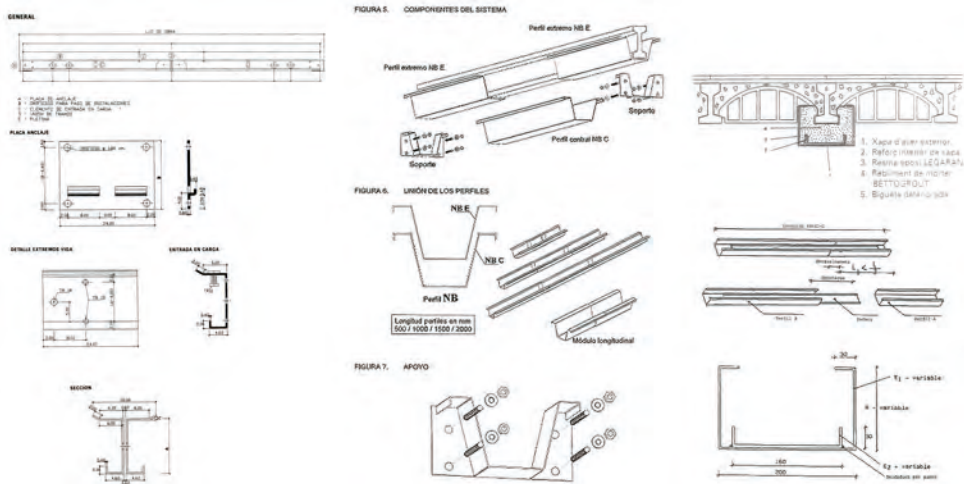


Fig. 21.3. Algunos gráficos extraídos de sistemas industrializados diversos de refuerzo de viguetas de hormigón con Documento de Idoneidad Técnica (DIT).

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1991). *Recomanacions per al reconeixement sistemàtic i la diagnosi ràpida de sostres construïts amb ciment aluminós*. Institut de Tecnologia de l'Edificació de Catalunya (ITEC) (cap. 4 y 5, pp. 21-56).

AA. VV. (1992). "La problemàtica del cemento aluminoso". Núm. monogràfic de la revista *Informes de la Construcció*. Instituto Eduardo Torroja (núm. 422, pp. 5-80).

AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmica*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 3, pp. 21-30; cap. 6 pp. 67-97).

AA. VV. (2010). "Sistemas de intervención. Refuerzo con sistemas DIT". *Guía de intervención en estructuras de hormigón en edificios existentes*. Generalitat Valenciana (ap. A.3-9, pp. 231-250).

Anomalia 22

Corrosión de las armaduras de acero en forjados de cerámica armada

La problemática de la corrosión de armaduras en los denominados forjados de cerámica armada suele ser superior a la de los forjados con viguetas de hormigón armado, debido a la mayor porosidad de la cerámica y del mortero u hormigón con áridos finos que recubren las armaduras. La diferencia más notable es que, en muchos tipos de forjados cerámicos, el daño visible en el techo que señala la expansión del acero aparece en la cerámica que recubre el nervio del forjado. El proceso subsiguiente es la rotura y desprendimiento de los materiales que recubren las armaduras oxidadas, como puede observarse en la [fig. 22-1](#). Cabe hacer mención que pueden darse situaciones de presencia de cemento aluminoso en determinados tipos de forjados que incluyen nervios construidos a pie de obra o en fábrica.



Fig. 22.1. Forjados cerámicos con claros síntomas de corrosión de las armaduras de los nervios.

Pautas para la intervención

Los protocolos de inspección son similares a los existentes para la casuística de las viguetas de hormigón con o sin cemento aluminoso, con la salvedad que en muchos tipos de forjado el recubrimiento cerámico impide visualizar directamente el hormigón, y que los daños visibles en la cerámica pueden enmascarar o reducir los del hormigón armado de los nervios.

Los factores que influyen en la elección de la técnica de refuerzo son múltiples: la gran diversidad de tipos de forjados cerámicos según sean las funciones de la cerámica (resistentes o únicamente con función de encofrado perdido), la multiplicidad de formas que pueden adoptar y los requerimientos de mantenimiento de altura libre de las estancias donde deben realizarse los refuerzos, entre otros. Generalmente, se suele requerir la sustitución funcional de las zonas afectadas por los síntomas de corrosión de las armaduras. En la mayor parte de intervenciones, los refuerzos



se diseñan a partir de la adición de perfilería metálica en el propio grosor del forjado o, cuando ello es posible, por su parte inferior, que suele ser la forma aplicada habitualmente, ya sea siguiendo el sentido de los nervios existentes o disponiendo, algunas veces, vigas metálicas parteluces. También en algunos tipos de forjados cerámicos son de aplicación sistemas industrializados de refuerzo utilizados para las viguetas de hormigón armado o pretensado (fig. 22-2, fig. 22-3).



Fig. 22.2. Ejemplo de refuerzo con perfilería de acero dispuesta por debajo de forjado cerámico afectado. Los nuevos nervios metálicos apoyan en vigas y pies derechos del mismo material.

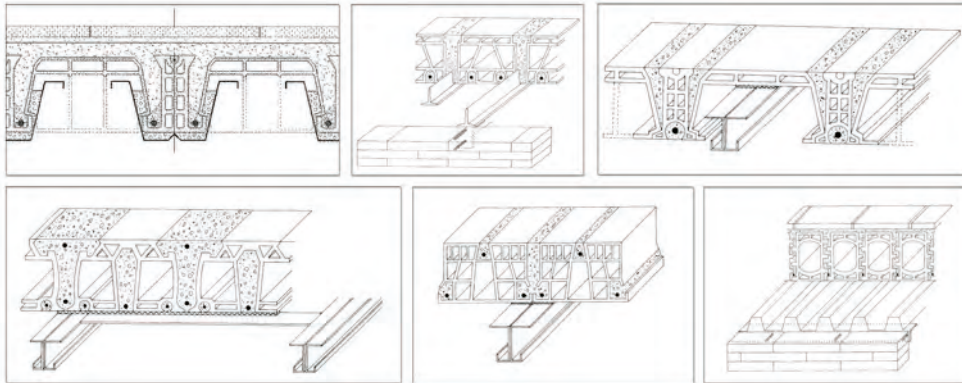


Fig. 22.3. Detalles de refuerzos aplicados a forjados cerámicos. En los tres gráficos superiores, soluciones sin aumento del canto. En los tres gráficos inferiores, con aumento del canto. En el gráfico inferior izquierdo, refuerzo bidireccional en sentido paralelo y transversal al de la carga del forjado.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmics*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.

FELIU, F., ANDRADE, C. (1989). *Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*. CNAIM-IET (cap. 1 y 2, pp. 11-55).

SEGUÍ, V. (1995). *Recomanacions per al reconeixement, la diagnosi i la teràpia de sostres ceràmics*. Institut de Tecnologia de l'Edificació de Catalunya (ITEC), Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Direcció General d'Arquitectura i Habitatge.

VÁZQUEZ, E. (2000). "La corrosión de las armaduras de acero". *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 5, pp. 59-61).



Anomalía 23

Rotura y desprendimiento de bovedillas en forjados de cerámica armada o de viguetas metálicas o de hormigón

La rotura y consiguiente desprendimiento de bovedillas del entrevigado o de la parte aligerante de los forjados fue considerado por muchas normativas como un daño no estructural, dado que su función no estaba regulada como elemento integrante de la parte resistente del forjado. Sin embargo, ha sido causa de situaciones de riesgo en edificios de usos y resoluciones estructurales muy diversas, que ha obligado a adoptar, a veces, costosas medidas preventivas para evitar los efectos de los desprendimientos de estos elementos sobre las personas.

Las causas de este tipo de daños pueden provenir de alguna de las situaciones siguientes:

- Tensiones de corte en las bovedillas debidas a su apoyo en viguetas o nervios de luces diferentes.
- Tensiones de corte en las bovedillas cuando el movimiento de flexión de una de las viguetas o nervios de apoyo es impedido por un cerramiento vertical (fig. 23-1).
- Elevada flexibilidad del vano de forjado, o vano de luz elevada, que transmite excesiva tensión a las bovedillas centrales coartadas de movimiento.
- Escasa adherencia de la cerámica de las bovedillas al hormigón vertido *in situ*, en forjados cerámicos cuyas bovedillas sirven de encofrado a los nervios de mortero u hormigón armado.
- Apoyo insuficiente de las bovedillas en las viguetas.
- Tensiones transmitidas por la corrosión de las armaduras de las viguetas de hormigón o de los nervios en los forjados cerámicos (fig. 23-2).
- Movimientos vibratorios reiterados en el forjado, en especial los originados por tráfico no previsto (fig. 23-3).



Fig. 23.1. Ejemplos de casetones rotos coincidiendo con tramos en que los apoyos difieren en el movimiento de flexión del forjado.



Fig. 23.2. Ejemplos de casetones rotos a causa de la corrosión de las armaduras en los elementos de apoyo.



Fig. 23.3. Ejemplos de casetones de yeso rotos coincidiendo con tramos de paso del coche-grúa de retirada de vehículos de la vía pública.

Pautas para la intervención

Las caídas suelen presentarse sin aviso previo, lo cual conduce a adoptar medidas preventivas en las zonas de circulación o estancia de personas. Generalmente, estas medidas consisten en la colocación de redes o mallas retenedoras fijadas a las viguetas o bien en la eliminación sistemática de las partes que puedan despren-

derse de las bovedillas hasta la adopción de medidas definitivas (fig. 23-4). Actuaciones más definitivas deben considerar la factibilidad de futuros movimientos de flexión originados por la fluencia o las sobrecargas. Estos factores deberán tenerse en cuenta antes de definir la intervención, que puede variar, también, en función del tipo de forjado. Cuando el forjado está correctamente dimensionado, la solución más común suele ser la disposición de un falso techo fijado a las viguetas, capaz de contener las bovedillas. En la actualidad, se comercializan soluciones específicas retenedoras de las bovedillas basadas en la disposición de mallas de fibras de vidrio embebidas en morteros adherentes (fig. 23-5).

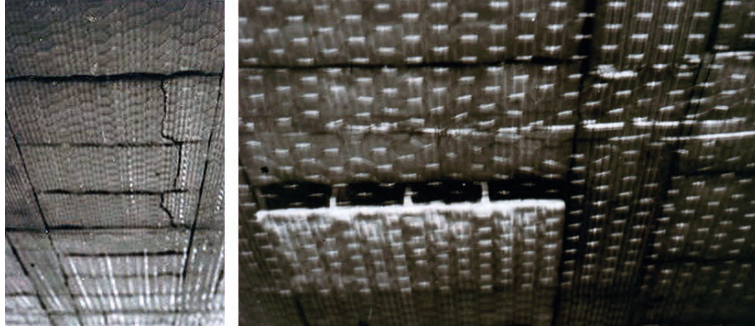


Fig. 23.4. Disposición de malla metálica retenedora de material de las bovedillas en riesgo de desprendimiento.

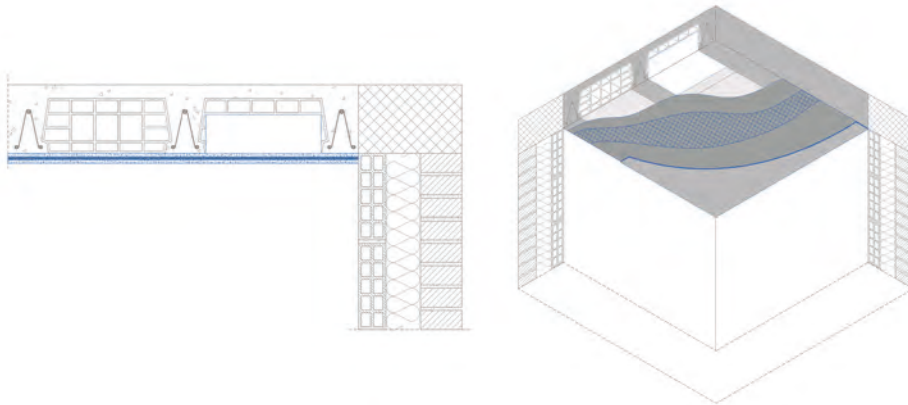


Fig. 23.5. Solución consistente en la disposición de malla de fibra de vidrio embebida en mortero cuya adherencia a los nervios de hormigón retiene a las bovedillas cerámicas.

Complemento bibliográfico

MAPEI (2020). "Sistemas antidesprendimiento de forjados de bovedilla cerámica y viguetas de hormigón". *Refuerzo estructural*. MAPEI (pp. 172-177).



Anomalía 24

Corrosión de los elementos resistentes metálicos en balcones, porches y galerías abiertas

Estos elementos son objeto de frecuentes procesos de corrosión del metal, con mayor o menor rapidez en función de su factibilidad de contacto, *más o menos prolongada*, con el agua o con los materiales húmedos que los recubren o los sujetan.

De forma similar a las expuestas para los pilares metálicos (Anomalía 10), los lugares más propensos a la formación del óxido que facilita su corrosión coinciden con las situaciones directamente expuestas al agua de lluvia o cuando se hallan en contacto con materiales que retienen el agua en sus poros, tales como los morteros o los ladrillos cerámicos. Es por ello que resultan especialmente afectados los perfiles de los balcones, galerías y tribunas empotrados en los muros de fachadas, embebidos en dichos materiales, y los situados en porches de los espacios públicos abiertos al exterior (fig. 24-1 y fig. 24-2). Otros elementos no resistentes, tales como las barandillas de los balcones, coincidiendo con sus anclajes en los muros, son también lugares especialmente propensos a la corrosión.



Fig. 24.1. En la foto de la izquierda, viguetas metálicas con el ala inferior fuertemente corroída, en contacto con entrevigado de mortero de cal. En la foto de la derecha, alma de una vigueta metálica completamente corroída en un forjado formado por revoltones de rasillas de dos capas de grosor en una galería exterior de un edificio de viviendas.

Concretamente, en los balcones de los edificios históricos, el origen de la problemática se halla en el agua infiltrada a través del pavimento y retenida por el mortero, generalmente de cal, en el interior de las losas, unido al efecto del agua condensada retenida en los poros del material de recubrimiento inferior, lo cual causa, en una primera instancia, el desprendimiento del recubrimiento (fig. 24-2) y, con el tiempo, puede llegar a generar la ruina del elemento (fig. 24-3). Es por ello que en los procesos de inspección de las fachadas históricas es recomendable disponer de un conocimiento detallado y minucioso de su estado.



Fig. 24.2. Ejemplo de dos balcones soportados por viguetas metálicas con el revestimiento inferior desprendido por los efectos de la corrosión de los perfiles.



Fig. 24.3. Ejemplos de situaciones ruinosas generadas por la corrosión de los perfiles metálicos. En la foto de la izquierda, balcón con perfiles perforados en sus almas por la corrosión. En la foto de la derecha, tramo de losa de balcón colapsada por el mismo motivo.

Las soluciones constructivas existentes suelen facilitar los procesos expuestos de corrosión de los elementos resistentes metálicos, puesto que no era habitual la interposición de láminas de estanqueidad en previsión de filtraciones y se aceptaba que los perfiles se hallasen embebidos en materiales porosos retenedores del agua (fig. 24-4).

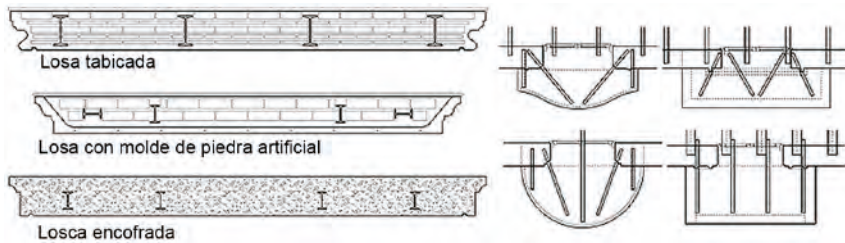


Fig. 24.4. Situación habitual de los perfiles en el interior de las losas construidas con tabicados cerámicos o por un aglomerado de mortero encofrado. Los perfiles se empotran debajo de las jambas de las ventanas o se contraapean en un perfil transversal ubicado en el tramo anexo interior del forjado.



Pautas para la intervención

La decisión sobre el tipo de intervención a emprender depende generalmente del grado de oxidación de los perfiles metálicos. Si estos presentan síntomas de corrosión importantes, con pérdidas de sección evidentes, la actuación más recomendable es su sustitución y la reconstrucción total de las losas cubriendo el conjunto con una lámina estanca por debajo del pavimento (fig. 24-5). A veces, será necesario conformar los límites con piezas molduradas prefabricadas o con morteros u hormigones especiales encofrados *in situ*.

Cuando los perfiles se hallan con síntomas incipientes de oxidación será necesario descubrirlos totalmente para recubrirlos con una protección antióxido antes de reponer las zonas eliminadas para la inspección. En estos casos, las actuaciones parciales no suelen cubrir el riesgo de presencia de corrosión en las partes no descubiertas.

Si bien es poco habitual, pueden presentarse casos en que las zonas de los perfiles inspeccionadas en localizaciones especialmente críticas permitan obtener suficientes certezas sobre su buen estado, en cuyo caso incorporar una prevención estanca superficial puede ser recomendable y suficiente.

En balcones de edificios antiguos con piezas de soporte de hierro, pueden observarse soluciones singulares diseñadas para mantener la visualidad original del elemento (fig. 24-6).



Fig. 24.5. Sustitución total de la losa del balcón con grietas indicativas de perfiles fuertemente oxidados. Los nuevos balcones se forman con nuevos perfiles IPN, piezas cerámicas huecas machihembradas a modo de solera y hormigón con chapa armada superior.



Fig. 24.6. Singular intervención de restitución de la losa con piezas cerámicas y sustitución parcial de los perfiles existentes reforzándolos con tornapuntas metálicos apoyados en nueva viga cargadera dispuesta en la fachada.

Complemento bibliográfico

MONJO, J. (1999). "Oxidación y corrosión de elementos metálicos de fachada". *Patología y técnicas de intervención*. Fachadas y cubiertas. Ed. Munilla-Lería (cap. 8, pp. 237-254).

RODRÍGUEZ, J. L. (2014). "La losa de balcón en Barcelona entre 1900 y 1940: evolución, tipología e intervención". Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

RODRÍGUEZ, J. L., CORNADÓ, C., DÍAZ, C. (2015). "Intervenciones en los elementos descollantes en la rehabilitación de fachadas de los edificios históricos del Ensanche de Barcelona". *Libro de Ponencias*, 5º Congreso de Patología y Rehabilitación de Edificios PATOR-REB-2015, Porto; pp. 96-101).



Anomalía 25

Grietas y deformaciones en bóvedas y arcos de piedra o ladrillo

Las bóvedas de piedra o ladrillo, propias de la construcción tradicional, se utilizaban para cubrir las estancias de los sótanos o de la planta baja tanto en entornos rurales como urbanos. En estas situaciones, se aprovechaba la acción del terreno o el peso de los muros gruesos de las plantas superiores para contrarrestar los empujes laterales de las bóvedas (fig. 25-1). Las secciones tipo habituales de estos elementos pueden verse en la fig. 25-2.

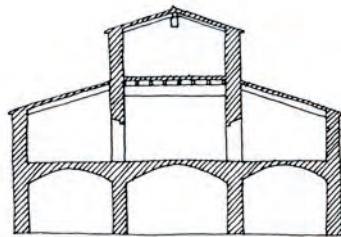


Fig. 25.1. Edificios entre medianeras urbano y masía con bóvedas para cubrir las estancias de sus plantas bajas.

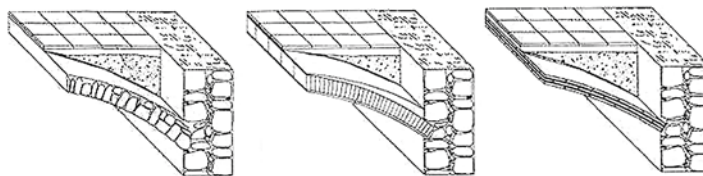


Fig. 25.2. Secciones habituales de las bóvedas a base de piedra o ladrillo, colocado plano o a sardinel.

Los excesos de solicitaciones verticales en las bóvedas o la falta de rigidez o deformación reológica de los muros laterales que deben soportar los empujes generan cuadros fisurativos diversos en los muros que apoyan sobre ellas y en las propias bóvedas, así como abombamientos en los muros laterales. En la fig. 25-3 se pueden observar diversas formas de manifestación visible de estos daños.

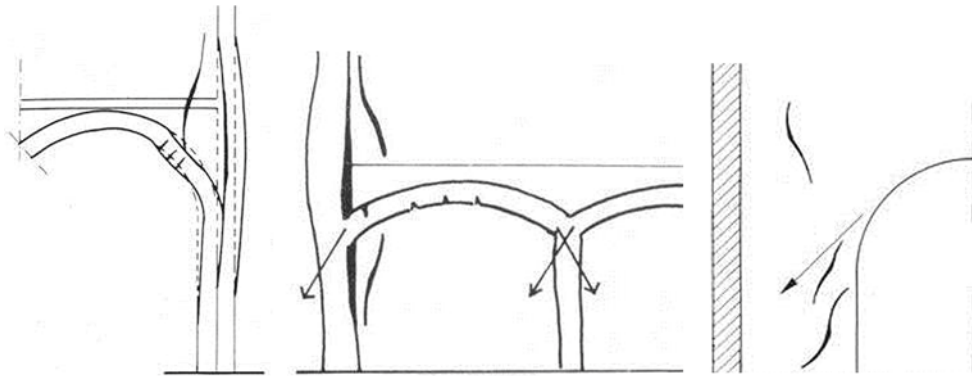


Fig. 25.3. Cuadros fisurativos debidos a los empujes de arcos y bóvedas sobre muros que presentan situaciones de deformación reológica o falta de rigidez del conjunto.

La localización concreta de las grietas en los muros transversales (fig. 25-3 central) se explica a partir de las tracciones creadas por el movimiento de los muros laterales antes de producirse la fractura en la unión entre ambos (Anomalía 2). Las grietas en la sección de la bóveda responden a la descompresión que experimenta debida también al movimiento de los muros laterales encargados de absorber los empujes de la bóveda. Dichas grietas se presentan en las zonas solicitadas por mayores tensiones de tracción, que se corresponden con las situaciones más alejadas de la línea de presiones de la bóveda o arco (fig. 25-4).

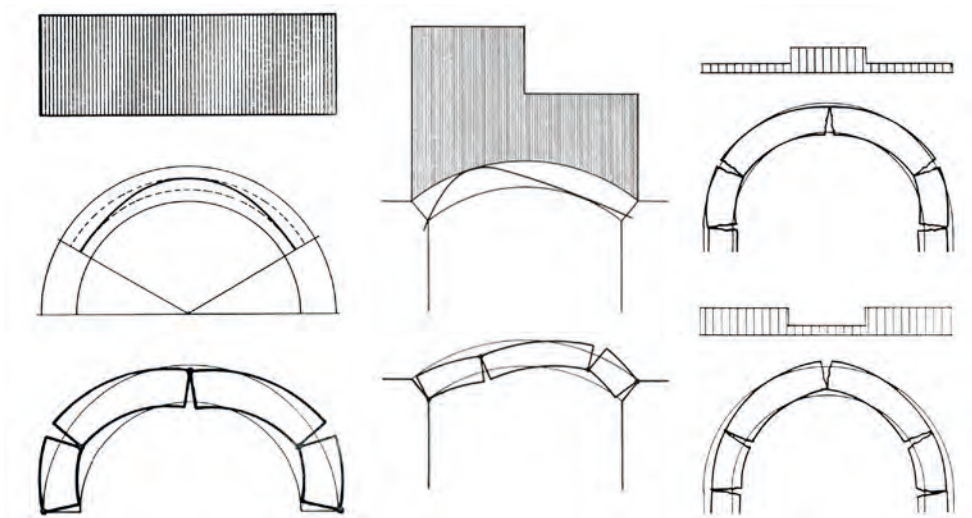


Fig. 25.4. Casos diversos de fisuración de los arcos en función de la distribución de las cargas verticales que han de soportar. En los gráficos de la izquierda y el centro se pueden observar las que adoptan las líneas de presiones en las dos variantes de carga.



A veces, sin producirse movimiento de los apoyos, es la propia deformación de la bóveda o arco originada por las cargas verticales la que causa los daños en forma de abombamiento cóncavo que suele ir acompañado de grietas longitudinales. La foto de la [fig. 25-1](#) muestra una bóveda y la de la [fig. 25-6](#), un arco con perceptible abombamiento de su directriz.

En el caso específico de los arcos formados por dovelas, los lugares de la abertura de las juntas suelen coincidir con los de las bóvedas continuas, si bien, en estos casos, el fallo puede presentarse también por el deslizamiento acaecido en aquellas juntas entre dovelas adyacentes en que la modificación de las condiciones de equilibrio provoca la superación de las tensiones de fricción entre ellas. Los daños pueden estar originados por el aumento de las cargas verticales o por la descompresión global del arco como consecuencia del movimiento de los soportes laterales que reciben los empujes ([fig. 25-5](#), foto y gráficos de la derecha).



Fig. 25.5. En el gráfico de la izquierda, esquema de fisuración en una bóveda afectada por exceso de carga. En la fotografía, arco descomprimido por movimiento en uno de sus arranques. En los gráficos de la derecha, condición de deslizamiento entre dovelas, la cual se presenta cuando el ángulo DMN formado por la resultante y la normal al plano de la junta supera el ángulo de fricción entre dovelas.

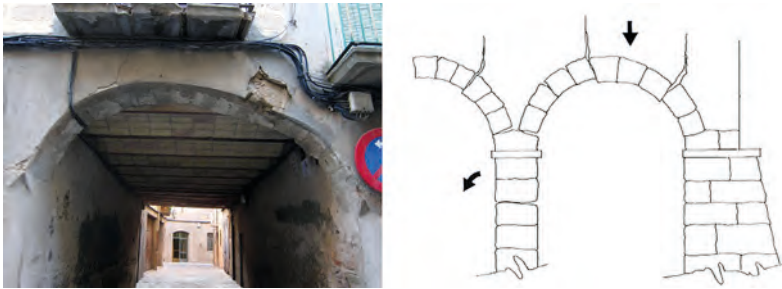


Fig. 25.6. En la foto, arco deformado coincidiendo con la zona que recibe las mayores cargas del muro. En el gráfico, deslizamiento de las dovelas en un arco originado por el movimiento lateral de uno de los arranques como consecuencia de la carga vertical excesiva en una zona del arco.

Los asentamientos diferenciales del terreno originan situaciones de descompresión en los arcos o bóvedas, que generan cuadros fisurativos análogos a los que se dan por la aparición de tracciones en lugares donde la línea de presiones inicial se ha desviado del tercio central de la sección, tal como se ha expuesto anteriormente. En arcos o bóvedas de medio punto, la localización más frecuente de la fractura debida a un movimiento descendente desigual entre los apoyos suele coincidir o situarse cerca

de la clave, al ser el lugar en que más se aleja la línea de presiones de la directriz del arco o bóveda. Sin embargo, no son extraños los casos en que los esquemas de fisuración debidos a las cargas verticales son prácticamente coincidentes con los originados por los asentamientos del terreno, y es necesario aplicar otros recursos adicionales al reconocimiento visual de los daños para discernir su causa (fig. 25-7).



Fig. 25.7. En el gráfico, desperfectos originados en las bóvedas por el asiento y giro de un pilar. En las fotos, arco exento de un portón de entrada con grieta cercana a su clave originada por el movimiento diferencial de sus bases de apoyo.

Pautas de intervención

Si la descompresión de la bóveda o del arco proviene de los empujes excesivos que provoca en los muros laterales o del movimiento reológico de abombamiento de alguno o ambos de dichos muros, la solución más usual suelen ser la disposición de tirantes con cables o perfiles metálicos que coarten el movimiento de separación de los apoyos. Con ello se contrarrestan los empujes por medio de la tracción de los tirantes. Evidentemente, los tirantes requieren de placas de anclaje situadas por el exterior de los muros, de superficie suficiente para no sobretensionarlos excesivamente por punzonamiento cuando se active el tirante (fig. 25-8). Esta forma de intervención coincide con la expuesta en la [Anomalía 2](#), en la que se trata la casuística de los movimientos reológicos en los muros.

Cuando es posible ocupar el espacio exterior circundante, otra de las formas de intervención posibles, también tratada en la [Anomalía 2](#), es la de adicionar contrafuertes por el exterior (fig. 25-8), capaces de dirigir la resultante de las acciones mecánicas en los apoyos hacia el terreno, evitando así los efectos de los empujes horizontales no compensados del elemento dañado.

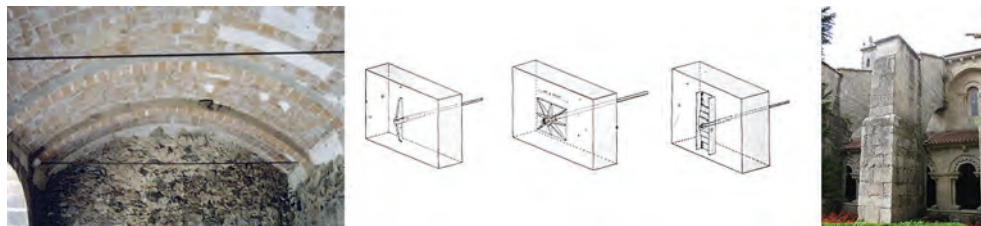


Fig. 25.8. En la foto izquierda, ejemplo de la disposición de tirantes de refuerzo en una bóveda de ladrillo. En el gráfico del centro, diversos tipos de soluciones de anclaje de los tirantes. En la foto de la derecha, contrafuerte de refuerzo dentro del claustro de la Colegiata de Santa María de Sar, en Santiago de Compostela.



Si el origen de la problemática de la bóveda es el exceso de carga que debe soportar, su capacidad portante se puede reforzar aumentando su sección mediante un regresado de hormigón armado por su extradós, o mediante soluciones de refuerzo tipo composite a base de fibras de vidrio o carbono, teniendo presente, en su caso, la exigencia de reversibilidad de la solución (fig. 25-9). En bóvedas a la catalana o tabicadas otra opción es la de añadir por la cara superior una nueva capa de ladrillo o rasilla para regresar la bóveda inicial. La disposición de platabandas metálicas por el intradós también puede ser una solución de refuerzo aplicable, en especial en los arcos (fig. 25-10 izquierda). Para la reparación de las grietas se suele aplicar alguna técnica de inyección con mortero de cal, cemento o morteros especiales para su colmatación.

Cuando el origen de las grietas son los movimientos del terreno, los métodos de reparación son coincidentes con los expuestos en la [Anomalía 28](#) y la [Anomalía 29](#), complementado con el sellado de las grietas u otro procedimiento que permita a la bóveda o arco recuperar la continuidad mecánica inicial.



Fig. 25.9. En las fotos, ejemplo de puesta en obra de refuerzo a base de hormigón armado. En el gráfico, sección de regresado de hormigón armado anclado a una bóveda de piedra.



Fig. 25.10. A la izquierda, refuerzo de bóveda con material composite formado de malla de fibra de vidrio y matriz de base cementicia. A la derecha, refuerzo de arco con platabandas metálicas colocadas por su intradós.



Complemento bibliográfico

CIGNI, G. (1978). "Dissesti negli archi e nelle volte". *Il consolidamento murario*. Ed. Kappa, Roma (cap. XIV, pp. 215-236).

HEYMAN, J. (1995). *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Instituto Juan de Herrera, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (cap. 1, 2,4, 5, pp. 3-30 y 57-87).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma (Parte Seconda C2, Struttura orizzontali, Volte, pp. 90-100).

VILLANUEVA, L. (1972). "Consideraciones acerca del comportamiento mecánico de los arcos pétreos". *De Re Restauratoria. Cátedra Gaudí, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona* (pp. 163-198).



Anomalía 26

Grietas en las bóvedas cerámicas de escaleras

La construcción de escaleras mediante bóvedas tabicadas ha sido muy frecuente en edificios históricos hasta bien entrada la segunda mitad del siglo xx. Estas bóvedas, denominadas también *a la catalana*, estaban formadas por dos o tres gruesos de rasilla cerámica soportándose en los muros que circundaban las cajas de escaleras y en los laterales extremos de las mismas bóvedas (fig. 26-1). La presencia de grietas que atraviesan la anchura de la bóveda puede ser debida a un movimiento general del edificio o a causas más locales como la existencia de cargas puntuales que pueden contribuir a la aparición de tracciones en la bóveda y a su consiguiente rotura.



Fig. 26.1. En las fotos de la izquierda, desarrollo de las bóvedas en los muros de las cajas de escaleras. En la foto de la derecha, bóveda fisurada transversalmente convenientemente apuntalada.

Pautas para la intervención

Las condiciones de equilibrio de la bóveda requieren necesariamente de su continuidad física para que sea posible la transmisión de las tensiones de compresión en el interior de su sección. En consecuencia, la presencia de fisuras transversales transforma en inestable su equilibrio, lo cual requieren subsanarse transitoriamente con su apuntalamiento preventivo. La reparación a emprender debe restablecer la continuidad mecánica a la bóveda. Ello puede conseguirse mediante la inyección en las fisuras de un producto a base de lechada de cal u otro de bajo módulo elástico capaz soportar las tensiones de compresión de la bóveda y adherirse convenientemente.

mente a la cerámica (fig. 26-2). El sellado es factible complementarlo con la adición de tejidos de fibra de vidrio o carbono por la parte inferior.

Otras posibles opciones son la disposición de pletinas metálicas de soporte por la parte inferior de la bóveda, siguiendo su curvatura. El doblaje de la bóveda con otra capa de rasilla o con materiales composite (fibra de carbono o vidrio) por la parte superior, solución que implica la extracción y recolocación del escalonado, puede resultar conveniente cuando se exige preservar el valor patrimonial del elemento. En todo caso, sea cual sea la solución aplicada, cabe tener presente la conveniencia de revisar, y en su caso asegurar el efecto *cajón* de los muros perimetrales sobre el correcto comportamiento mecánico del conjunto de las bóvedas concatenadas.



Fig. 26.2. Puesta en obra de un procedimiento de inyección en una bóveda cerámica rota por un movimiento general del edificio.

Complemento bibliográfico

BAQUÉ, J. (2019). "Escaleras con bóvedas a la catalana". *L'Informatiu* [en línea]. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (nov. 2019). <<http://informatiu.apabcn.com/es/blog/escaleras-con-boveda-a-la-catalana/>> [Consulta: 5 d'abril 2021].

BENAVENT, P. (1963). *Cómo debo construir*. Ed. Bosch, Barcelona (pp. 174-175).

PARICIO, A. (2001). *Secrets d'un sistema constructiu: l'Eixample*. Edicions UPC, Barcelona (cap. 3, "Els elements constructius"; cap. 3.7, "Les voltes d'escala", pp. 57-58).



Anomalía 27

Deterioro de las losas de piedra de los balcones y otros elementos volados

La formación de los cuerpos salientes volados con piezas de piedra tallada, habitualmente denominadas *losas*, ha sido una práctica habitual en los edificios de los centros históricos construidos con técnicas tradicionales. Sin embargo, son significativos los casos en que con el tiempo la piedra se va deteriorando, perdiendo calidad visual con la presencia de manchas, decoloraciones o pátinas, y también, alterando sus características fisicoquímicas con reducción de su resistencia y cohesión, con erosiones, disgregaciones, descamaciones y otros tipos de pérdida de material que generan riesgo de desprendimientos. Generalmente, en estos procesos de deterioro inciden sus condiciones de exposición a la lluvia y la humedad ambientales, las atmósferas marinas y la presencia de impurezas en el aire generadas por el tráfico o por industrias contaminantes.

Las pérdidas de material suelen iniciarse por los bordes de las losas, que son las partes más visibles. Su presencia indica que ha habido un proceso químico degenerador de la estructura pétreo inicial del material que, en mayor o menor grado, puede estar presente en las losas aún no afectadas, puesto que dicho proceso puede no visualizarse desde su inicio. Por eso la presencia de síntomas visibles de degradación aconseja, a menudo, adoptar medidas preventivas para evitar los riesgos de desprendimientos que afecten a las personas, en forma de redes envolventes, apuntalamientos o plataformas retenedoras a la altura de la planta baja (fig. 27-1, fig. 27-2).



Fig. 27.1. Losas de balcón de piedra natural con diversas formas de alteración del material.



Fig. 27.2. Desprendimiento de una porción de losa de piedra de la parte inferior de una tribuna, después de adoptar medidas preventivas.

Otro tipo de deterioro que afecta a las losas de los balcones lo constituye el movimiento relativo de las piezas de piedra que las forman. Estos movimientos se deben, en muchas ocasiones, a los que experimenta el edificio, en conjunto o en parte, que hacen que se desorganice el sistema de apoyos mutuos de las piezas de la losa, abriendo juntas y generando situaciones de desestabilización (fig. 27-3). La flexión del dintel inferior a la losa afectada también puede actuar como causa desencadenante o concurrente, originando efectos similares a los anteriores.



Fig. 27.3. Ejemplos de movimiento de las losas de piedra. En la foto de la izquierda se visualiza el corte total del edificio y el giro del dintel inferior apuntalado.

Pautas para la intervención

Se deben distinguir inicialmente aquellas intervenciones cuyo objetivo es la limpieza superficial de la fachada de aquellas otras en las que se proponen tratamientos específicos de mejora de las características de la piedra para protegerla de los agentes externos o para aumentar su resistencia mecánica. La conservación del aspecto externo en casos de fachadas con valores patrimoniales será otro factor que incidirá sobre la elección del procedimiento. En todo caso, cuando el proceso de alteración física se constate avanzado por la pérdida de material ya acaecida, la decisión se planteará entre la sustitución total de las losas o la restitución de las zonas desprendidas. Dicha restitución podrá hacerse con piedra de las mismas características que la original o con materiales vertidos a un encofrado o molde que restituya la forma original, unidos con anclajes, armaduras de acero inoxidable y adhesivos apropiados a la piedra saneada.



Por lo que se refiere a los movimientos de las piezas, de lo expuesto anteriormente se deduce claramente la necesidad de extender la diagnosis más allá del entorno próximo de las losas para definir la intervención adecuada. Antes, hay que asegurar que los movimientos del edificio que han incidido sobre el equilibrio de las losas han desaparecido o se han reparado sus causas. Solo entonces cabe definir la actuación más adecuada en función del grado de afectación que presenten, es decir, de la inclinación y separación de las piezas juntamente con su estado de alteración físico-química. Las soluciones elegidas pueden ser muy diversas, siendo las más habituales la sustitución de las piezas, su recolocación a la posición inicial, o procurando una nueva continuidad entre ellas por medio de fijaciones mecánicas dispuestas por su parte superior.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1997). *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 3, 4, 5, 6, pp. 39-106).

AA. VV. (2013). "Criterios de intervención en materiales pétreos". *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España (pp. 39-106).

RODRÍGUEZ, J. L. (2014). "La losa de balcón en Barcelona entre 1900 y 1940: evolución, tipología e intervención". Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).



Old school building
1910-1911
1912-1913
1914-1915
1916-1917



ES4. ESTRUCTURA: CIMENTACIÓN

- Anomalía 28** Grietas por movimientos de la cimentación en muros, tabiques, techos y pavimentos
- Anomalía 29** Grietas por movimientos de la cimentación en pilares y jácenas de las estructuras porticadas de hormigón armado



Anomalía 28

Grietas por movimientos de la cimentación en muros, tabiques, techos y pavimentos

Entre los movimientos más frecuentes que se presentan en las cimentaciones de un edificio se hallan los originados por el asiento diferencial entre las zapatas aisladas de los pilares, entre zonas de las zapatas corridas de los muros, o incluso entre los pilotes o la base de apoyo de las losas de cimentación.

Las causas que originan estos asientos pueden ser de índole muy diversa: la heterogeneidad del terreno o su insuficiente capacidad portante, un reparto desigual de las acciones verticales, deficiencias en el propio sistema de cimentación, etc. En edificios con cimentaciones superficiales, las causas más recurrentes son las que se relacionan con las variaciones de la humedad en los terrenos arcillosos o limosos, ya sea por las lluvias, por las corrientes de agua subterráneas, por las variaciones del nivel freático, o por fugas en las redes de evacuación de aguas, en los albañales o en el alcantarillado. Una insuficiente caracterización del terreno, errores de dimensionado y actuaciones en solares colindantes pueden sumarse, entre otras, a las anteriores. Los efectos visibles de los asientos en los edificios suelen presentarse en forma de grietas en los cerramientos verticales, con o sin función estructural, así como en los pavimentos y en los techos.

En general, en los muros de tierra, adobe, ladrillo u hormigón sin armar, la localización de las lesiones se asocia a los cuadros de las líneas isostáticas, siguiendo el trazado de las tensiones principales, también llamadas líneas de fractura, deducibles de considerar dichos elementos como elásticos y rígidos. El conocimiento de los modelos de familias de líneas isostáticas de referencia facilita la deducción de la localización de la zona o zonas más asentadas, así como su magnitud. Para ello, resulta útil diferenciar para su estudio los cuadros fisurativos más frecuentes según tres situaciones:

- a) En función de la localización extrema o central de la zona de terreno asentada (fig. 28-1 a fig. 28-4).
- b) En función de la geometría de los elementos afectados, según sean macizos o con aberturas (fig. 28-1 a fig. 28-4).
- c) En función de la interposición de elementos más rígidos que los cerramientos afectados, tales como zunchos o forjados planos de hormigón, que interrumpen su continuidad (fig. 28-1 a fig. 28-4).

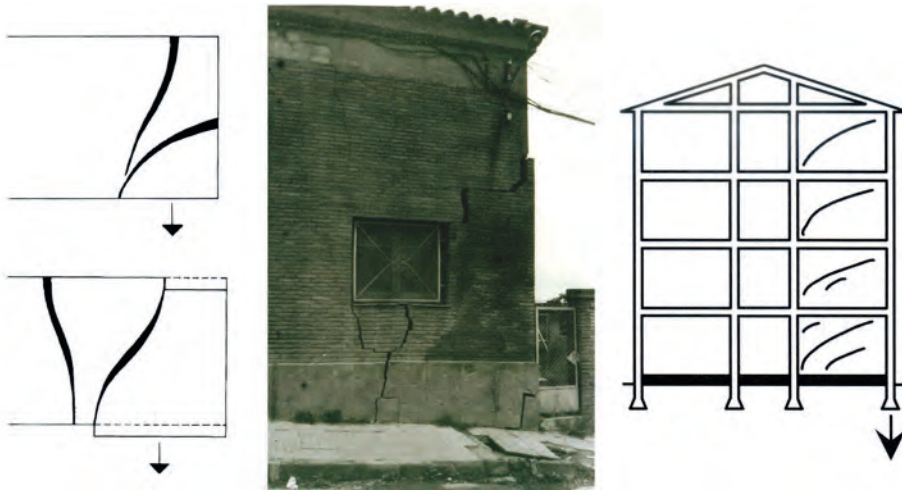


Fig. 28.1. Esquemas tipo de lesiones y ejemplo de edificio afectado por un asentamiento en uno de sus extremos. El gráfico superior izquierdo es indicativo de un asiento de longitud más corta que el gráfico inferior. Las grietas de la izquierda aparecen posteriormente a las de la derecha o pueden no aparecer.

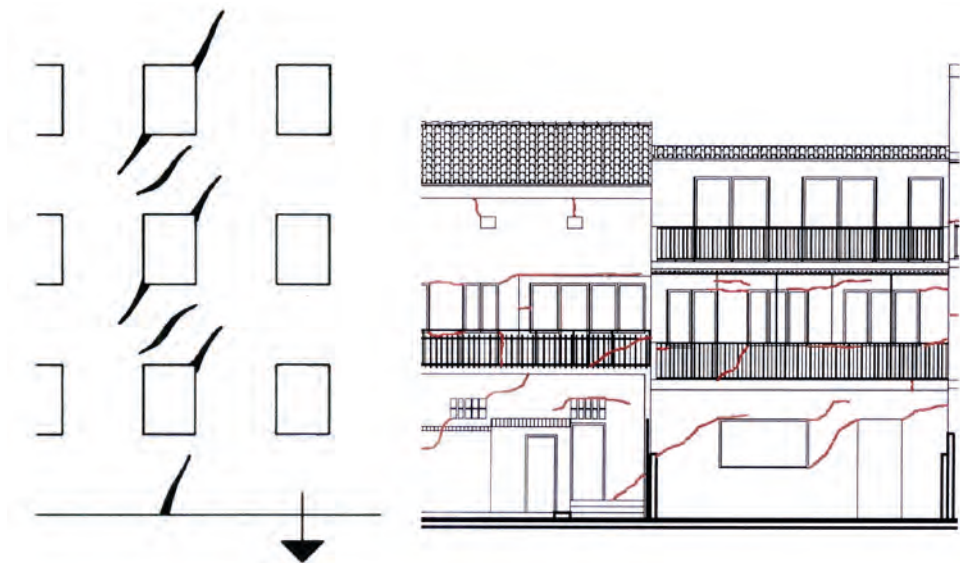


Fig. 28.2. Esquemas de lesiones de edificios afectados por asentamiento diferencial en uno de sus extremos en casos de muros con aberturas.

Cabe añadir que si bien los esquemas de localización habitual de las grietas de las figuras que se incluyen son los que corresponden a los muros, fachadas y cerramientos verticales en general, los mismos esquemas se presentan también en los de la compartimentación interior, conectando a menudo con las roturas en los pavimentos y techos (fig. 28-5), dibujando con ello los esquemas globales de afectación que muestran con mayor o menor exactitud la zona afectada.

En todos los gráficos se consideran exclusivamente los movimientos descendentes de los elementos de cimentación, al ser los que originan un mayor número de anomalías en los edificios; pero en el análisis de los daños del edificio es recomendable tener presente la posibilidad de que la causa inductora sea debida a la presencia de arcillas expansivas y al correspondiente movimiento ascendente de un sector del edificio, lo cual modifica sustancialmente los esquemas fisurativos. También hay que considerar la posible incidencia en dichos cuadros de un componente horizontal en el movimiento de asiento descendente, debido al deslizamiento que acaece en terrenos en ladera.

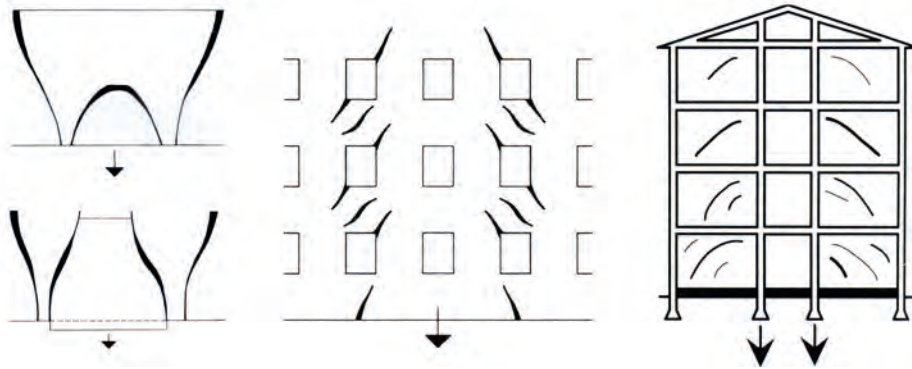


Fig. 28.3. Esquemas tipo de las lesiones en el caso de asentamiento diferencial de la zona central del muro. El gráfico superior izquierdo es indicativo de un asiento más corto que el del inferior. Las grietas de la izquierda aparecen posteriormente a las de la derecha o pueden no aparecer.

Es preciso tener presente que en los muros de fábrica las juntas frías que pueda contener, como lo son los planos de interrupción de obra, o casos de adherencia débil entre el aglomerante y las piezas que lo conforman, es posible que sean lugares predominantes en la situación de las fracturas o que provoquen la manifestación de los planos de desadherencia manteniendo la directriz la línea de fractura que corresponde (fig. 28-4, gráficos c, d).

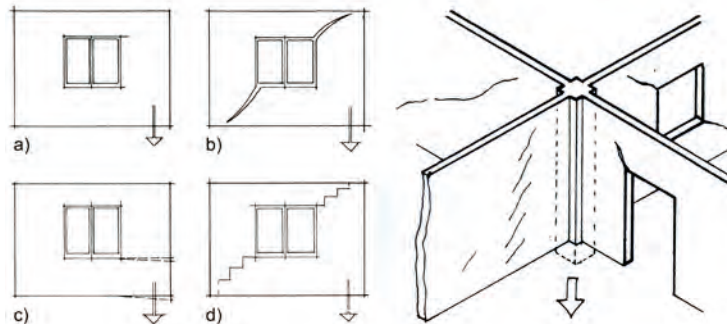


Fig. 28.4. En los cuatro gráficos de la izquierda se representan diversas formas de manifestación de la fractura según sea la homogeneidad del muro y la localización de sus secciones más débiles. En el gráfico de la derecha se representan las diversas formas que pueden adoptar las grietas en los cerramientos que conectan con un pilar.



Cuando el elemento de cimentación que desciende es la zapata de un pilar, el cuadro fisurativo lo conforman fisuras en los cerramientos que en él convergen, según los esquemas anteriormente expuestos, representadas de forma sucinta en el gráfico de la derecha de la [fig. 28-4](#). Si el pilar es de fábrica, el asentamiento suele generar la abertura de las juntas verticales entre los materiales que componen la fábrica del propio pilar.

Además de los cuadros fisurativos de referencia, otros signos posibles o complementarios debidos a los movimientos de la cimentación son el descuadre de puertas y ventanas causados por los desniveles de las soleras y forjados, y las roturas de los pavimentos. La continuidad de las grietas por suelos, paredes y techos anteriormente citada, marcando divisiones o discontinuidades completas en el edificio ([fig. 28-5](#)), suele ser un dato determinante que indica la presencia de una situación de asentamiento diferencial.

Como valor de referencia, suele aceptarse que los movimientos en las cimentaciones de los edificios generan daños en forma de grietas perceptibles cuando el asentamiento diferencial vertical entre zapatas contiguas supera valores superiores a $1/300$ de la distancia entre ellos. Sin embargo, en la práctica, la obtención precisa de este valor, denominado distorsión angular, resulta difícil, si bien a veces es posible obtener datos a partir de un determinado momento de la manifestación del daño en el edificio.

No siempre la visión del daño es perceptible en los propios elementos de la cimentación, bien sea por la mayor deformabilidad del material o por presentar esquemas de fisuración difusos no visibles con los medios habitualmente utilizados. Las lesiones suelen iniciar su aparición en los muros, tabiques y soleras en contacto con el terreno de la planta inferior, prosiguiendo su ascenso a partir de la planta baja o de los sótanos hacia las plantas superiores ([fig. 28-5, fotos izquierda y central](#)). De todas formas, también puede darse casos en que la rotura se manifieste siguiendo secciones verticales coincidentes con patios interiores o lugares menos resistentes a los esfuerzos de tracción generados por el movimiento, puesto que no es extraño que sea todo el edificio el que experimente un movimiento de basculación, generando desplomes que pueden alcanzar valores críticos ([fig. 28-5, foto derecha](#)).



Fig. 28.5. A la izquierda y en el centro, ejemplos de descuadre de puerta y descenso del pavimento de planta baja a causa del movimiento del terreno. A la derecha, un caso de continuación de la grieta por pared y techo.

Pautas para la intervención

Para establecer la necesidad y la urgencia de intervención es preciso disponer de información sobre la actividad o pasividad de las grietas. De ser activas, será imprescindible instrumentalizar la dinámica de variación de su anchura, con la finalidad de determinar si el movimiento es progresivo o creciente en el tiempo, o si es proporcional, decreciente o cíclico.

Si de la información anterior se deduce la necesidad de intervención, deben realizarse prospecciones como actuación previa a la determinación del sistema de reparación. Pueden también presentarse situaciones en las que el estado global del edificio, afectado por movimientos anteriores percibidos a través del análisis de sus cuadros fisurativos, aconsejen su reparación, con distintos objetivos que pueden ser el de devolver al edificio la continuidad mecánica y estructural perdida o el de prever los efectos de futuros movimientos puntuales. En cualquier caso, la conveniencia de la realización de prospecciones específicas es siempre necesaria, salvo cuando se disponga de datos suficientes sobre la pasividad de las lesiones y las causas generadoras de los daños.

Sobre las técnicas de intervención en cimentaciones, se constata que en la actualidad los sistemas de recalce tradicionales, basados en la ampliación de las zapatas existentes para aumentar su base o para ir a apoyar en un nuevo firme más resistente mediante la excavación de bataches o procedimientos similares, prácticamente ya no se aplican. En su lugar, si la estratigrafía del terreno lo permite, los sistemas más empleados por su mejor relación costo-prestación son los de micropilotaje, con diámetros de pilotes comprendidos habitualmente entre los 10 y los 18 cm. Estos sistemas permiten una versátil puesta en obra al ser posible introducir la maquinaria en el interior de edificios con una altura libre de planta baja reducida, inferior incluso a los 2 m, gracias a la gran variedad de modelos ligeros capaces de adaptarse a requisitos de ejecución, tipos de terreno y ubicación muy diversos (fig. 28-6).

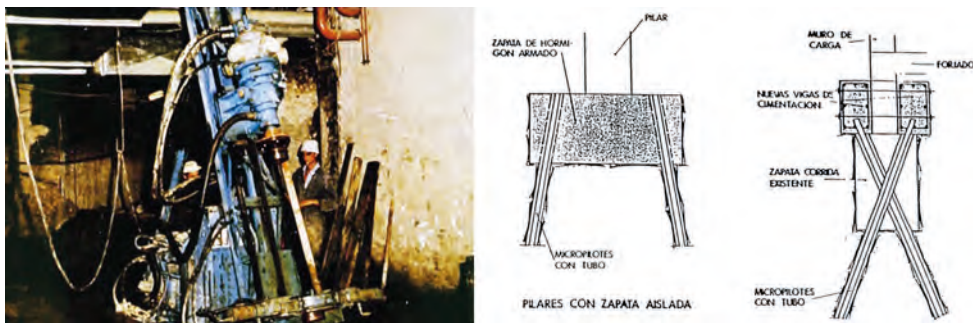


Fig. 28.6. Dos métodos de transmisión de las cargas del edificio al terreno: utilizando la cimentación existente como encepado de los micropilotes, o con disposición de carreras de hormigón armado presionadas al muro existente como arranque de los micropilotes. A la izquierda, maquinaria para su puesta en obra.

Además de los micropilotes, existen otras técnicas de aplicación creciente que fundamentan su acción en la mejora de las características resistentes o de impermeabilidad del terreno en la zona con incidencia en la recepción de las cargas que



le llegan de la cimentación. Entre ellas se hallan las inyecciones de aglomerantes químicos (partículas consolidantes), a base de silicatos o resinas expansivas, y las inyecciones de alta presión, habitualmente denominadas *jet-grouting*, a base de lechada de cemento introducida a altas presiones en el terreno para mezclarse con él rompiendo su estructura y aumentando su resistencia (fig. 28-7).

Cuando el material que conforma los elementos de cimentación dispone de espacios intercomunicados, son de aplicación inyecciones a base de resinas, lechada o mortero introducidos a presión en la masa de material. Esta solución se aplica preferentemente en las cimentaciones de edificios antiguos a base de mamposterías en seco, o con escasa dosificación de conglomerante, si bien también puede aplicarse en zapatas ejecutadas con hormigones excesivamente pobres (fig. 28-8).



Fig. 28.7. Proceso de inyección de resina expansiva en edificio con daños por asentamiento diferencial. A la derecha, visionado del ámbito de penetración del producto en el terreno.

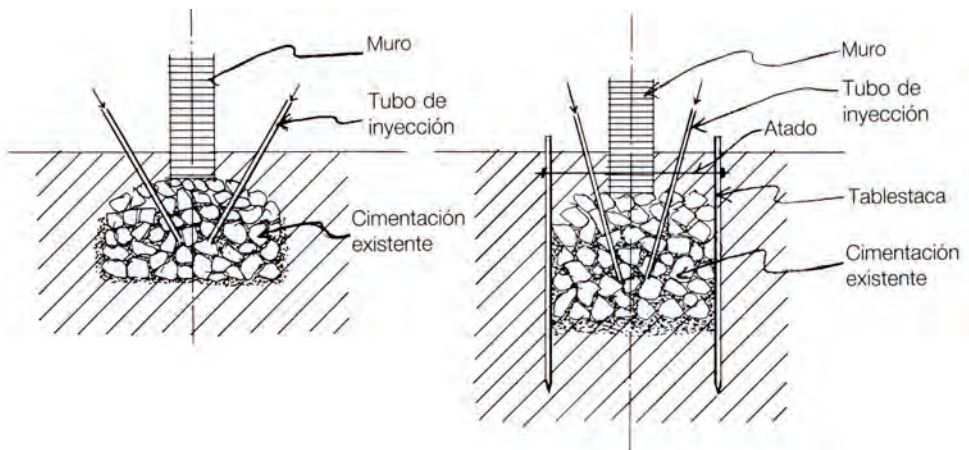


Fig. 28.8. Inyecciones a base de lechada de cemento en cimentación de mampostería con conglomerante degradado o inexistente. En la foto derecha, se confinan los límites de la zapata con tablestacado.



Complemento bibliográfico

BELLMUNT, R. (1998). "Sintomatologia. Lesions als fonaments i sistemes de contenció". *Manual de Geotècnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 8, pp. 79-88).

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de las cimentaciones existentes". *Rehabilitar en acero*. Publicaciones APTA (cap. 8, pp. 397-426).

CANALDA, J., FERNÁNDEZ, J. L., (1998). "Pilotes y micropilotes. Sistemas de inyección y consolidación del terreno". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. II. Parte 2, pp. 43-59).

CERVELLÓ, S. (1998). "Recalçat en profunditat". *Manual de Geotècnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 13, pp. 129-136).

DI STEFANO, R. (1990). "Consolidamento delle fondazioni". *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*. Edizioni Scientifiche Italiana (cap. V, pp. 156-187).

GARCÍA LÓPEZ, M. (1991). "Cimentaciones y contenciones: técnicas de refuerzo y recalzo". *Curso de patología*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 1, pp. 147-181).

GARCÍA LÓPEZ, M. (1998). "Patología de las cimentaciones". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. II. Parte 1, pp. 15-42).

MAÑÀ, F. (1978). *Patología de las cimentaciones*. Ed. Blume (cap. I, II, pp. 11-45; cap. IV, pp. 71-81).

MASTRODICASA, S. (1978). "Cedimento delle fondazione". *Dissesti statici delle strutture edilizie*. Hoepli ed. (Parte Seconda, pp. 127-213).

MONJO, J., MALDONADO, L., (2001). "Cimentaciones". *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. 2, pp. 45-97).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma. (Parte Seconda A1; Fondazioni, pp. 30-41).

RODRÍGUEZ RUIZ, J. M. (1984). "Introducción a la patología y reparación de cimentaciones". *La cimentación. Curso de Rehabilitación-4*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tema 1, pp. 7-29).

RODRÍGUEZ RUIZ, J. M. (1984). "Recalces superficiales y actuaciones sobre el terreno de cimentación". *La cimentación. Curso de Rehabilitación-4*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tema 2, pp. 31-59).

VERA, A. (2003). "Subsuelo". *La conservación del patrimonio arquitectónico*. Diego Marín Librero-Editor, Murcia (cap. X, pp. 235-263).



Anomalía 29

Grietas por movimientos de la cimentación en los pilares y jácenas de las estructuras porticadas de hormigón armado

En las estructuras porticadas de hormigón armado, la localización de las lesiones que presentan los pilares y las jácenas que forman los pórticos objeto de asentamiento diferencial de alguna de sus zapatas de cimentación, coinciden con la localización de las máximas tensiones de tracción y compresión en los diagramas de esfuerzos una vez acaecido el asiento. Los esfuerzos generados son el resultado de sumar las tensiones de las acciones exteriores verticales y en su caso las horizontales, con las producidas como consecuencia del descenso de la base debida al asentamiento (fig. 29-1 y fig. 29-2).

Se verifica que en las zonas del pórtico donde el signo de los esfuerzos finales debidos al asentamiento no varía en relación con el signo de los generados por las cargas verticales, las grietas son de un orden de magnitud menor.

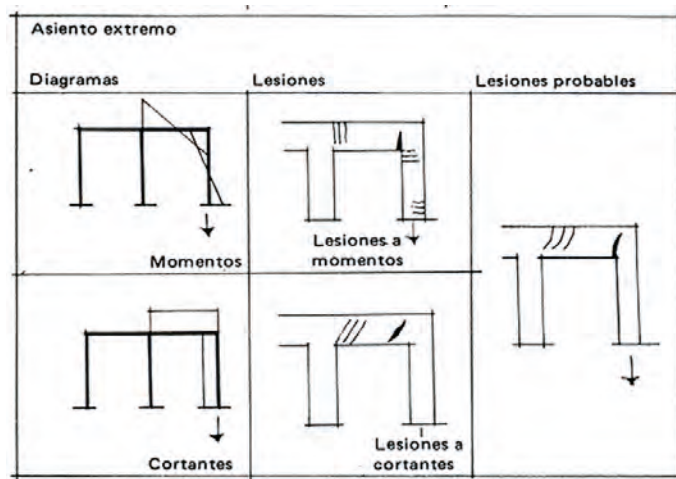


Fig. 29.1. Esfuerzos generados por el movimiento y la situación de las fisuras en un pórtico de hormigón armado de dos vanos en el supuesto de asentamiento extremo.

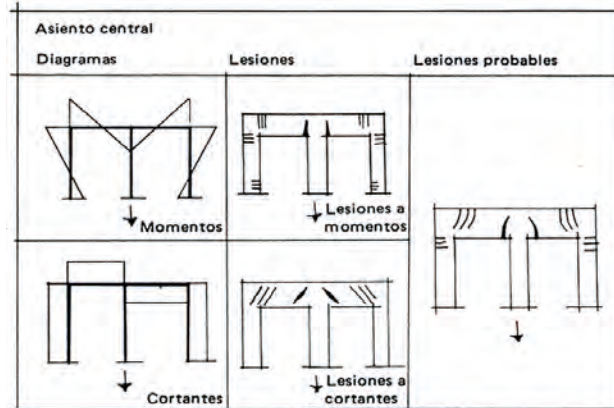


Fig. 29.2. Esfuerzos generados por el movimiento y la situación de las fisuras en un pórtico de hormigón armado de dos vanos en el supuesto de asentamiento central.

Mientras que en las zonas donde los esfuerzos debidos al asentamiento son de signo inverso a los de las cargas verticales, el daño suele ser mayor, y aparecen en el momento en que el esfuerzo generado por el asentamiento provoca el cambio de signo respecto del originado por las cargas verticales. Ello se explica por el hecho de que el pórtico no se halla armado convenientemente para la absorción de las tensiones de tracción generadas por la inversión de la sollicitación. Cabe añadir que la forma concreta que adoptan las grietas depende de la rigidez de las barras de las armaduras, presentándose tanto más finas y numerosas como más pequeños sean sus diámetros (ver [Anomalía 5](#)).

Suele suceder que los daños por los efectos del movimiento de la cimentación aparecen antes en los elementos cerámicos de la plementería que en los de los propios elementos estructurales, en los cuales pueden incluso no aparecer debido a su mayor rigidez. Esta situación, frecuente en los edificios con estructura de hormigón armado, se presenta de forma sistemática en los edificios con estructura metálica, dada la factibilidad de deformación en fase plástica, anterior a la fractura (ductilidad) del acero que la conforma. En consecuencia, en dichos edificios, los efectos de los movimientos en la cimentación solo se perciben a través de los cuadros fisurativos mostrados en la [Anomalía 28](#).

Pautas para la intervención

En principio, no se diferencian de las expuestas en el caso más general de las grietas en muros, tabiques y otros cerramientos con síntomas de sufrir los efectos de los asientos ya vistos en la [Anomalía 28](#) al referirse a la conveniencia de seguimiento del movimiento y a la necesidad de proceder, en su caso, al recalce de la cimentación afectada. Es frecuente que los daños se presenten no solo en los elementos estructurales sino en un conjunto de elementos del edificio, y, en consecuencia, los factores de decisión serán también análogos a los ya expuestos, con la sola singularidad de la forma de reparación de las grietas en el hormigón armado una vez asegurada su pasividad, siendo la más habitual su inyección por un producto epoxi-



dico, siempre y cuando el grado de afectación sufrido por los elementos lesionados debidos al asiento no obligue a proceder previamente a su refuerzo.

Complemento bibliográfico

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de las cimentaciones existentes". *Rehabilitar en acero*. Publicaciones APTA (cap. 8, pp. 397-426).

CANALDA, J., FERNÁNDEZ, J. L. (1998). "Pilotes y micropilotes. Sistemas de inyección y consolidación del terreno". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. II. Parte 2, pp. 43-59).

GARCÍA LÓPEZ, M. (1998). "Patología de las cimentaciones". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. II. Parte 1, pp. 15-42).

MAÑÀ, F. (1978). *Patología de las cimentaciones*. Ed. Blume (cap. I, II, pp. 11-45; cap. IV, pp. 71-81).

MASTRODICASA, S. (1978). "Cedimento delle fondazione". *Dissesti statici delle strutture edilizie*. Hoepli ed. (Parte Seconda, pp. 127-213).





ES5. ESTRUCTURA: EDIFICIO EN SU CONJUNTO

Anomalía 30. Resistencia insuficiente de los edificios altos a la acción *del* viento

Anomalía 31. Grietas y colapsos debidos a las acciones dinámicas

Anomalía 32. Grietas y deformaciones debidas a los movimientos de dilatación y contracción térmica en los edificios



Anomalía 30

Resistencia insuficiente de los edificios altos a la acción del viento

Es sabido que la consideración de la acción del viento en el cálculo estructural en algunos edificios residenciales construidos en su mayor parte durante la década de los años 60 o primeros años 70 del siglo xx, fue insuficiente o inexistente. Estos podrían llegar a ser torres o bloques exentos de altura superior a las 9 o 10 plantas. Si bien en la mayor parte de dichos edificios no se han detectado cuadros patológicos atribuibles a esta anomalía, la revisión de sus hipótesis de cálculo y del dimensionado resultante de sus elementos resistentes ha aconsejado proceder a su refuerzo, adoptando valores de referencia exigenciales más próximos o coincidentes con los de las normativas más recientes. En las fotografías de las figuras (fig. 30-1, fig.30-2, fig. 30-3) se pueden observar varios ejemplos de edificios con estructura porticada de hormigón armado o metálica que han sido objeto de refuerzo.



Fig. 30.1. Edificios de 12 plantas con estructura porticada de hormigón armado, con aspas metálicas de rigidización de los pórticos en las plantas inferiores para mejorar la absorción de las acciones horizontales del viento.



Fig. 30.2. Edificios de 13 plantas con estructura porticada de hormigón armado reforzado siguiendo unas pautas similares al de la figura anterior, en pórticos situados en el interior del edificio.



Pautas para la intervención

En los edificios de las características apuntadas construidos durante el periodo mencionado, conviene revisar las hipótesis de cálculo consideradas en el proyecto con la previa verificación de la resolución estructural realmente construida. Esta información es la que en estos casos se requiere para decidir el tipo de intervención a realizar, centrando el interés especialmente en las condiciones de arriostramiento y en la capacidad de resistir las acciones horizontales.

En el caso de requerir refuerzo, el recurso más utilizado es la disposición de cruces de San Andrés metálicas para la rigidización de los pórticos de las plantas inferiores (fig. 30-1, 30-2). En algún caso de edificios con elevada esbeltez, se ha optado por aumentar el brazo mecánico de los pórticos de menor anchura disponiendo por delante de sus fachadas delantera y trasera pórticos metálicos adicionales que rodean el edificio (fig. 30-3).



Fig. 30.3. Bloques de 16 plantas con estructura metálica reforzada por el exterior a las acciones del viento mediante una estructura metálica adicional que envuelve los edificios y aumenta su brazo mecánico.

Complemento bibliográfico

BRUFAU, R. (2010). "Técnicas de refuerzo de pilares" y "Técnicas de refuerzo de vigas". *Rehabilitar con acero*. Publicaciones APTA (cap. 5 y 6, pp. 207-337).

GONZÁLEZ VALLE, E. (1984). "Estructuras de hormigón armado: refuerzo mediante hormigón y estructura metálica". *Curso de Rehabilitación - 5. La Estructura*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (pp. 173-189).

MARTÍNEZ LASHERAS, C., MARTÍNEZ LASHERAS, R. (1998). "Estructuras metálicas y mixtas: refuerzo y rehabilitación". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales* (Tomo 3. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales). Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. IV, ap. 7, pp. 411-438).

MAS-GUINDAL, A. (1998). "Reparación de estructuras de acero. Problemas. Soluciones". *La reparación de la estructura*. Fundación Cultural COAM, Madrid (cap. 8, pp. 99-106).



Anomalía 31

Grietas y colapsos debidos a las acciones dinámicas

Las acciones o cargas dinámicas son aquellas que se aplican con rapidez, de forma brusca, a la manera de un impacto, o de forma reiterada y constante sobre la totalidad del edificio o algunos de sus elementos. Habitualmente, en el ámbito de la edificación, se consideran cargas dinámicas las generadas por los sismos, el tráfico, las explosiones y, en determinadas situaciones de secuencia y velocidad, por el viento. La singularidad de las cargas dinámicas subyace en el hecho que, cuando estas se aplican de forma brusca, tienen un efecto doble en comparación con las cargas estáticas, del mismo valor, y cuando se aplican de forma reiterada su efecto puede ser multiplicador.

Tratándose en general de fenómenos complejos, podemos asimilar los efectos mecánicos del sismo al de las cargas dinámicas de impacto aplicadas multidireccionalmente y con variable reiteración. Las lesiones en los edificios afectados por los sismos marcan esquemas fisurativos muy diversos; los más distinguibles visualmente son las grietas en cruz en los tramos de muro entre ventanas, o a 45° en las cuatro esquinas de las propias ventanas. De hecho, esta forma de rotura se corresponde a la de dos fracturas a esfuerzo de corte formadas simultáneamente y en sentidos opuestos (fig. 31-1). Otra afectación menos visible que las anteriores es el desmenuzamiento y pulverización de los morteros en los muros de mampostería (fig. 31-2, fig. 31-3). En las estructuras de hormigón, los puntos críticos suelen presentarse en la parte superior de los pilares más próxima a los forjados y en los pilares cortos o con movimiento impedido por los entrepaños de obra, situaciones relacionadas con el aumento local de la rigidez de la estructura de hormigón por su localización próxima al nudo o a la obra anexa (fig. 31-4 y 31-5). En general, los tramos inferiores del edificio, más próximos al terreno resultan los más afectados.



Fig. 31.1. Ejemplos de cuadros fisurativos típicos en muros de edificios afectados por movimientos sísmicos.

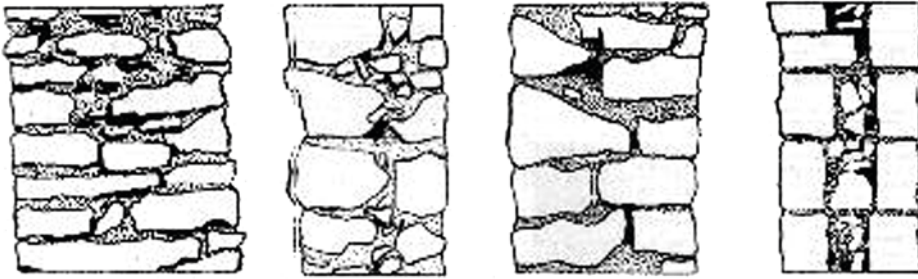


Fig. 31.2. Daños en el interior de muros de mampostería afectados por movimientos sísmicos. Las zonas ennegrecidas del gráfico muestran las partes con piedras o mortero desmenuzadas.



Fig. 31.3. Ejemplo de un tramo de muro colapsado por movimiento sísmico.



Fig. 31.4. Cabezas de pilares de hormigón armado afectados por movimientos sísmicos.



Fig. 31.5. Pilar corto y pilar con el movimiento impedido por los entrepaños de obra con roturas a cortante por efecto del sismo.



Fig. 31.6. Ejemplos de paramentos y barandillas de las fachadas desprendidas hacia la calle por el efecto del sismo.

En edificios residenciales convencionales modernos, por el riesgo de colapso y caída resultan especialmente críticos las paredes exteriores cerámicas situadas entre pilares y forjados de hormigón armado, además de otros elementos no portantes tales como barandillas, remates, etc. (fig. 31-6).

Los edificios afectados por explosiones exteriores acaecidas en épocas pasadas o por el tráfico pesado presentan cuadros patológicos anárquicos de difícil interpretación, habitualmente marcando una mayor afectación en su parte superior. Los efectos dinámicos del viento no suelen afectar a los edificios, al no ser frecuente la incidencia sobre estos de ráfagas de viento a velocidad constante y larga duración coincidentes con sus periodos de oscilación. Situación, en cambio, más factible en algunas construcciones civiles, especialmente en el caso de puentes metálicos donde las cargas dinámicas del viento pueden incluso provocar su caída.



Pautas para la intervención

Los departamentos y oficinas encargadas de la protección civil de la población disponen de detallados protocolos de diagnóstico rápida para la evaluación de las afectaciones originadas por el sismo y de criterios de intervención cautelara en situación de emergencia postsismo. Dada la abundancia de técnicas constructivas, tipos edificatorios y gradación de daños posibles, no es posible establecer de forma sintética unas pautas generales que puedan resultar de aplicación en cualquier circunstancia en que se presente una problemática generada por un movimiento sísmico. Como pauta general, en los edificios con sistemas estructurales de muros de carga o estructuras porticadas de hormigón o acero, la tendencia en las soluciones de refuerzo es modificar la rigidez de la estructura según sea su carencia o su exceso la causa diagnosticada generadora del daño (fig. 31-7). Hay que tener presente, por otra parte, la incidencia de los cerramientos de obra como elementos generadores de riesgo por las insuficiencias de sus uniones a los elementos estructurales o por la posibilidad de modificar substancialmente las condiciones de rigidez de dichos elementos.

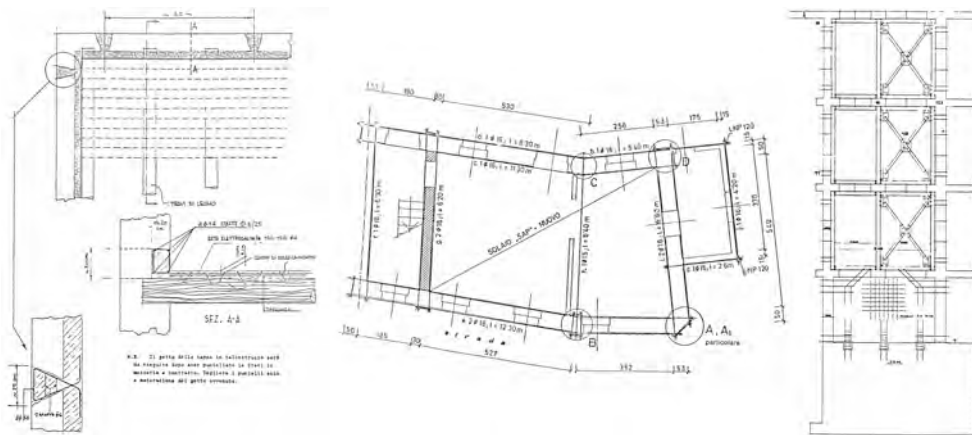


Fig. 31.7. Tres soluciones de refuerzo antisísmico extraídas de un documenteo de ASSIRCCO para ser aplicadas en edificios habitacionales en zonas sísmicas después de los terremotos de Italia en 1976. En el gráfico de la izquierda, añadiendo chapas de compresión de hormigón armadas unidas a los muros perimetrales en los forjados. En el gráfico del centro, mediante un sistema de atriantamientos de los muros. En el gráfico de la derecha, interponiendo aspas de San Andrés a una zona del edificio.

Complemento bibliográfico

ADDLESON, L. (1983). "Agrietamiento debido a vibraciones". *Materiales para la construcción*. Ed. Reverté (Vol. 1, pp. 138-139).

ÁLVAREZ, R. *et al.* (2013). *El terremoto de Lorca, efectos en los edificios*. INTEMAC, Madrid.

ÁVILA-HARO, J. *et al.* (2014). "Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings: Application to Barcelona, Spain". *15th World Conference on Earthquake Engineering - WCEE* (January 2014):10.



ÁVILA-HARO, J. *et al.* (2016). "Seismic Assessment of Unreinforced Masonry Buildings". *Applied Mechanics and Materials*. 837 (June):16-21.

BEER, M. *et al.* (2015). *Encyclopedia of Earthquake Engineering* [en línea]. Springer. <<https://doi.org/10.1007/978-3-642-35344-4>> [Consulta: 5 abril 2021].

CAROCCI, C. F. (2001). "Guidelines for the Safety and Preservation of Historical Centres in Seismic Areas". *Historical Constructions*. University of Minho, Guimaraes.

EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION (1998). *European Macroseismic Scale 1998*. Vol. 15.

LENCZNER, D. (1973). *Movements in Buildings*. Pergamon Press (pp. 26-30).

MARGENES, G., PENNA, A. (2011). "Seismic Design and Assessment of Masonry Buildings in Europe: Recent Research and Code Development Issues". *9th Australasian Masonry Conference* (February):583-603.

MAS-GUINDAL, A. J. (1998). "Diseño y reparación de estructuras a sismo. Norma, tipos, soluciones". *La reparación de la estructura*. Fundación Cultural COAM, Madrid (pp. 115-136).

MELE, M. (1980). "Esempi di intervento per la riparazione e il rafforzamento di edifici di abitazione". *L'intervento della regione in Friuli dopo il terremoto del V-'76*. Congresso ASSIRCCO (pp. 137-164).

SALVADORI, M. (1987). *Estructuras para arquitectos*. Ed. La Isla, Buenos Aires (pp. 40-47).



Anomalía 32

Grietas y deformaciones debidas a los movimientos de dilatación y contracción térmica en los edificios

Los materiales con los que se construyen los edificios experimentan, en mayor o menor grado, variaciones dimensionales en función del salto térmico que experimentan. Dichas variaciones de dimensión se denominan de dilatación o contracción en función de su aumento o disminución de temperatura, respectivamente. El coeficiente de dilatación térmica expresa la magnitud por unidad de longitud de este movimiento en cada material por cada grado en que varíe su temperatura y, por tanto, permite conocer la diferente influencia que tiene este fenómeno en cada material y las diferencias que existen entre ellos (tabla 1).

Material	Coeficiente de dilatación (α)(mm/mm°C)
Aluminio	$24 \cdot 10^{-6}$
Yeso laminar	$15 \cdot 10^{-6}$
Acero	$12 \cdot 10^{-6}$
Hormigón	$12 \cdot 10^{-6}$
Hierro	$10 \cdot 10^{-6}$
Vidrio	$9 \cdot 10^{-6}$
Piedra	$9-12 \cdot 10^{-6}$
Cerámica	$5 \cdot 10^{-6}$
Madera	$3-6 \cdot 10^{-6}$ dirección fibras

Tabla 32-1. Valores de los coeficientes de dilatación térmica de algunos de los materiales más frecuentemente usados en los edificios.

De forma equivalente a lo que sucede con los movimientos higrométricos, las tensiones de origen térmico se producen cuando el movimiento inducido por los cambios térmicos de los materiales componentes de los edificios se halla coartado total o parcialmente. Las coacciones pueden provenir por tener impedido el movimiento en sus bordes o extremos de forma que no puedan aumentar o reducir sus dimensiones, o bien por tener impedido su deslizamiento por la fricción ejercida por un material en contacto de diferente coeficiente de dilatación térmica. Como consecuencia de estas situaciones, los daños en los edificios se producirán cuando se presenten alguna de las situaciones siguientes:

- Cuando en el edificio no se han previsto juntas de dilatación suficientes. Ello provocará que se marquen grietas verticales en los tramos centrales de los edificios de gran longitud, o coincidiendo con las mínimas secciones verticales del edificio, muchas veces en coincidencia con presencia de patios, retranqueos, etc. Se trata, pues, de secciones débiles para la absorción de tensiones de tracción o de los efectos de empujes generados por los tramos largos del edificio sobre fachadas u otros encuentros específicos. Cabe añadir, por otra parte, que abundan las fisuras en los revestimientos coincidentes en su localización con juntas de dilatación estructurales o con fases de ejecución, al cubrir con el material el trazado de la junta (fig. 32-1).



Fig. 32.1. En la foto de la izquierda, grieta en el revestimiento del forjado coincidente con el recorrido de la junta de dilatación del edificio. En la foto de la derecha, grieta vertical en el revestimiento que recubre la junta entre dos fases de ejecución del edificio.

- Cuando el elemento con mayor sollicitación de movimiento genera tensiones en aquel o aquellos con los que contacta en sus extremos, siendo éstas de magnitud tal que induzcan a su fisuración. Es el caso, por ejemplo, de la viga de un pórtico de hormigón armado que empuja a los dos pilares laterales, o la del pilar ubicado en contacto con el ambiente exterior que dilata o contrae más que el ubicado en el interior (fig. 32-2). En estos casos, la propia rigidez de los nudos es la que impide el libre movimiento de la jácena o los pilares. Los mismos esquemas de lesiones pueden ser originados a causa de su retracción hidráulica.

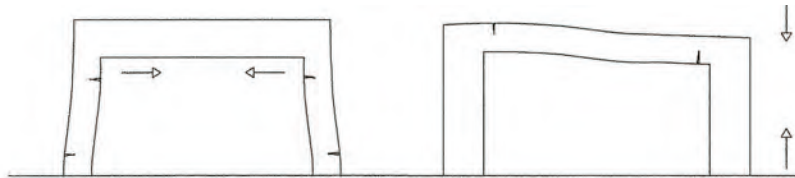


Fig. 32.2. Esquemas de fisuración de pórticos de hormigón armado originados por la contracción térmica o higrotérmica de alguno de sus elementos.



- En elementos con tendencia a experimentar movimientos en su plano que se ven coartados por el contacto o la unión con elementos laterales rígidos. En este caso, si la tendencia es la de aumentar su dimensión debido a la dilatación térmica, el elemento tiende a abombarse. Esto sucede, por ejemplo, en un forjado de cubierta rigidamente conectado a los pilares de hormigón armado que lo soportan. El sobrecalentamiento que produce la radiación solar en la parte exterior de la cubierta genera movimientos de abombamiento en dichos elementos que originan cuadros de fisuración por flexión en las zonas traccionadas del propio forjado de cubierta o en las cabezas de los soportes (fig. 32-3).

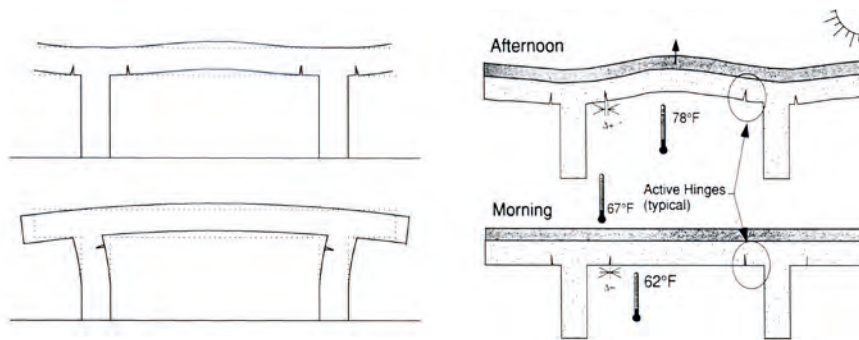


Fig. 32.3. Efectos de la deformación térmica debida al calor y a la radiación solar de un forjado de hormigón rigidamente vinculado a soportes del mismo material.

- Cuando el elemento con mayor sollicitación de movimiento genera una fricción sobre aquel con el que contacta, se puede romper la conexión entre ambos al superarse la resistencia al esfuerzo rasante en el plano de contacto y, en ocasiones, puede incluso provocar la rotura por esfuerzo cortante del elemento con el que contacta. Es el caso, por ejemplo, que se presenta cuando los forjados de cubiertas planas apoyadas o conectadas a los muros exteriores de cerramiento, generan tensiones que provocan la fisura en el plano de contacto y/o en la parte superior de la propia fachada. Los esquemas típicos que distinguen estas situaciones se pueden observar en la fig. 32-4, según sea el sentido de la deformación impuesta por el forjado de cubierta. En la misma fig. 32-4 se incluye un gráfico de la planta de un forjado de cubierta apoyado en un muro perimetral con el esquema de tensiones rasantes generadas por la dilatación térmica del forjado en su contacto con la sección superior del muro. Dichas tensiones adoptan un valor creciente cuanto más se alejan de su punto central, al ir aumentando progresivamente con la longitud del contacto entre muro y forjado de cubierta.
- En edificios con formas curvilíneas, no muy habituales, los movimientos térmicos pueden generar desplazamientos horizontales debidos al efecto del *empuje al vacío*, en sentido transversal a la fachada, cuando tiende a aumentar de magnitud por causa de la dilatación térmica. Estos desplazamientos indican la superación de las tensiones rasantes entre tramos de la fachada de diferente sección y pueden llegar a provocar descantillados y desprendimiento de material, como se muestra en el ejemplo del edificio de la fig. 32-5.



Fig. 32.4. En el gráfico superior, esquemas típicos de fisuración debidos a la dilatación y contracción del forjado de cubierta. En el inferior, esquema de la formación de tensiones debidas al contacto del forjado de la cubierta con el muro. En las fotos, ejemplos de formación de grietas debidas a la dilatación térmica del forjado superior.



Fig. 32.5. Movimientos horizontales relativos de una fachada curvilínea originados por tensiones de origen térmico.

Las anomalías generadas por los contactos entre materiales de diferente dilatabilidad son muy frecuentes en los edificios. Como se puede observar en la [tabla 1](#), las diferencias de deformabilidad frente a los saltos de temperatura existentes entre muchos de ellos son notables: el hormigón y el acero dilatan el doble que la cerámica; el aluminio, más de cuatro veces que la cerámica, y dos veces más que el hormigón; la madera, mucho menos que todos ellos, etc. Este diverso comportamiento frente a las diferencias de temperatura, unido a las diferencias de su inercia térmica y, en algunos elementos, a sus cambios de rigidez, explica la formación de una gran cantidad de grietas variadas y anomalías en los edificios, muchas de ellas de escasa trascendencia.



Pautas para la intervención

Si el daño tiene su origen en la dimensión excesiva del edificio sin la necesaria previsión de una junta de movimiento térmico en su sistema estructural, se deberá necesariamente proceder a su formación *a posteriori*, aserrando los elementos constructivos pertinentes, previo estudio del recorrido más idóneo. Esta operación es muy poco habitual, puesto que la estructura de los edificios suele estar convenientemente subdividida por juntas con esta función. Sin embargo, puede presentarse con mayor probabilidad en las fachadas, puesto que las sucesivas normativas hasta la aparición del Código Técnico de la Edificación (CTE), en 2006, no precisaron la separación entre juntas. La única excepción fue la Norma MV-201 aprobada en 1972, aplicable a los muros de carga de ladrillo, que establecía unas distancias mínimas entre juntas entre 30 y 60 m consideradas excesivas años después. En la [fig. 32-6](#) se muestra un edificio de forma ovoide sin previsión inicial de juntas de dilatación en el que se procedió a dividir su fachada de ladrillo visto disponiendo juntas verticales cada 12 m de separación aproximadamente.

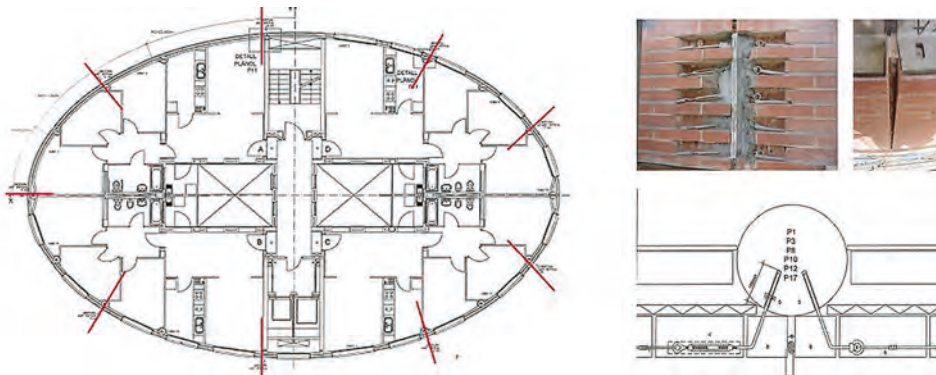


Fig. 32.6. Provisión de juntas de dilatación en la fachada de un edificio de forma ovoide. Las juntas se disponen coincidiendo con la ubicación de los pilares. Los tramos entre juntas de la fachada son soportados por cables tensados anclados en los pilares.

Cuando el daño proviene de la fricción entre los materiales o elementos de diferente deformabilidad frente a la temperatura, la intervención más recomendable es la formación de una junta elástica entre ambos, aunque solo sea superficial. Esta es la situación más habitual que se presenta en muchos forjados de cubiertas planas ya comentada en el punto anterior. La opción de impedir su movimiento relativo con el muro mediante el grapado de la grieta entre ambos no es recomendable puesto que suele comportar la formación de una nueva grieta en el muro coincidiendo con el extremo de las grapas.

En el caso de elementos cuyo movimiento se halla coartado por los dos extremos, se trata de liberar el movimiento por lo menos en un extremo con el fin que pueda deslizarse, o de cortarlo por una sección intermedia disponiendo una pieza colisa o recurso similar para conseguir la misma finalidad.



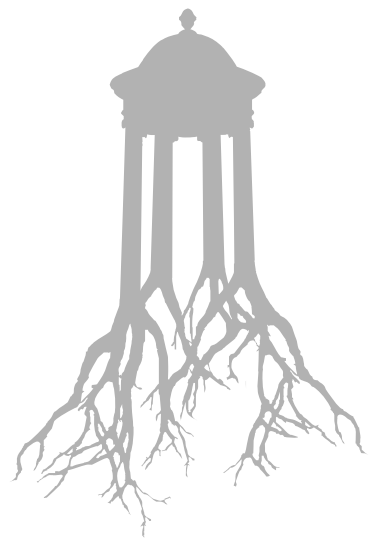
Complemento bibliográfico

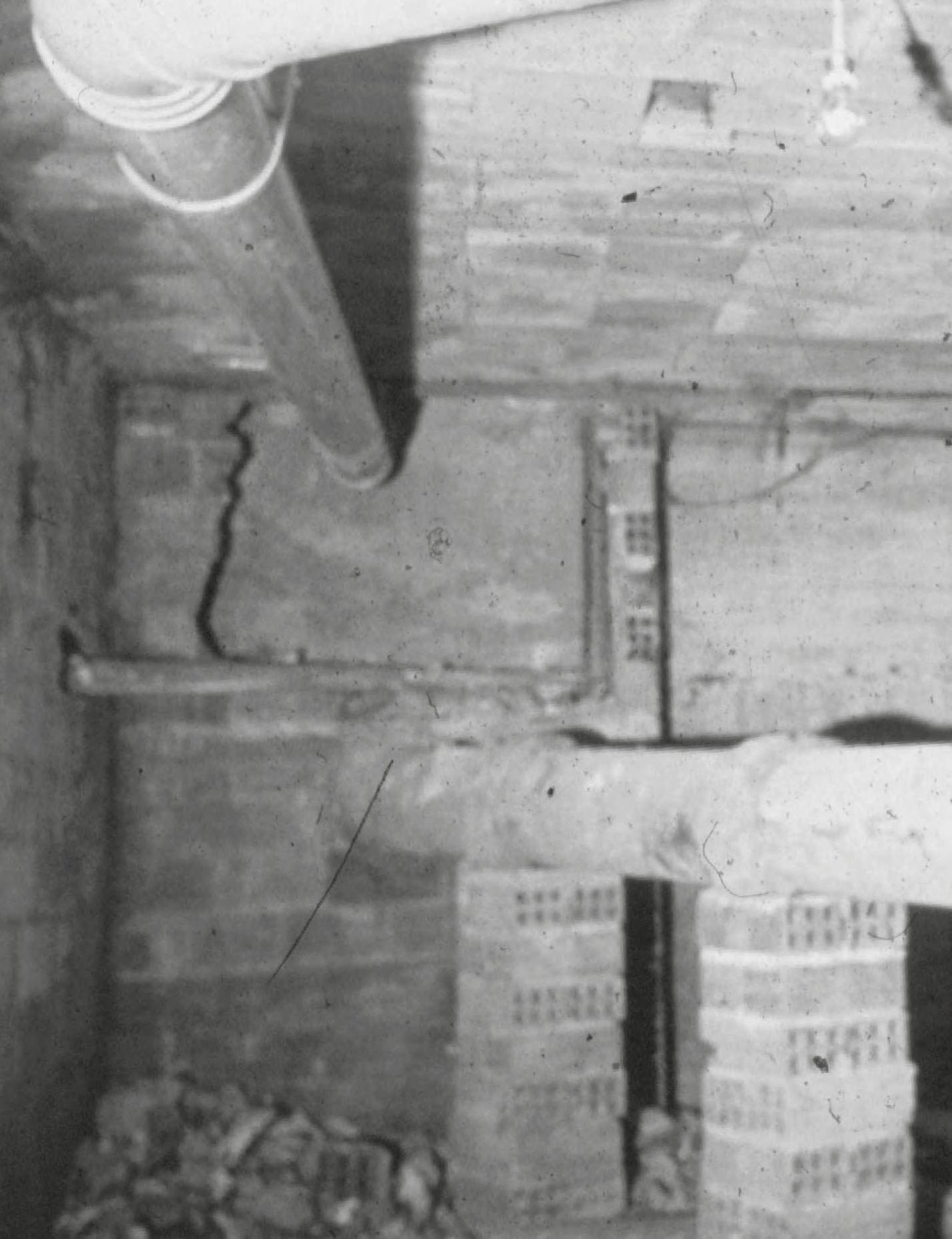
ADDLESON, L. (1983). "Grietas debidas a limitación de los movimientos térmicos y los producidos por la humedad". *Materiales para la construcción*. Ed. Reverté (Vol. 1, pp. 120-130).

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. II, ap. 3.2.3. pp. 37-38).

LENCZNER, D. (1973). "Temperature movements". *Movements in Buildings*. Pergamon Press (Chap. 4, pp. 58-77).

SASTRE, R.; MUÑOZ, F. (2010). "Propiedades reológicas de los sólidos". *Propiedades de los materiales y los elementos constructivos*. Ediciones UPC (cap. 6, pp. 78-87).







EX1. ENVOLVENTE EXTERIOR: CONTACTO CON EL TERRENO

- Anomalía 33.** Humedades debidas a la ascensión capilar del agua contenida en el terreno en muros de las plantas bajas y soleras
- Anomalía 34.** Filtraciones de agua contenida en el terreno en muros de contención de sótanos
- Anomalía 35.** Humedades e inundaciones en las cámaras sanitarias



Anomalía 33

Humedades debidas a la ascensión capilar del agua contenida en el terreno en muros de las plantas bajas y soleras

Los problemas derivados del agua contenida en el terreno, que asciende a través de los muros de planta baja del edificio, presentan una casuística diversa dependiendo del origen del agua que es susceptible de contener dicho terreno. Por eso se aconseja que la diagnosis de estos problemas se inicie por la distinción de su origen entre las siguientes situaciones:

- a) Presencia de agua de lluvia y de escorrentía remansada junto al muro. Se presenta en terrenos cohesivos arcillosos o limosos y en terrenos con rellenos antrópicos. El agua retenida en el terreno junto al paramento exterior del muro penetra en él y asciende por su interior a través de los poros capilares del material. Los muros de ladrillo, de tierra o de bloque de hormigón ligero son los más propensos a estas ascensiones capilares del agua. Esta situación es muy usual en edificios o calles sin pavimento a su alrededor. También pueden darse situaciones en las que un estrato de terreno de muy baja permeabilidad es interrumpido por un tramo de muro enterrado que facilita la retención prolongada del agua en su proximidad y contacto.
- b) Presencia de agua que proviene de corrientes subterráneas o rieras. En estos casos el agua choca con la parte enterrada del muro o los muros que interrumpen su paso afectando a una zona del edificio (fig. 33-1).
- c) Presencia de agua que proviene de las alcantarillas deterioradas. Frecuente en fincas antiguas con albañales sin renovar, que presentan pérdidas. Afectan de forma localizada al edificio coincidiendo con algún punto o con todo el trazado del albañal. También puede provenir de otros conductos enterrados con pérdidas (fig. 33-1, fig. 33-3).



Fig. 33.1. Visión de las manchas de humedad por el exterior de una fachada de ladrillo y por el interior de una esquina de un muro enyesado.



Las afectaciones en los muros, debidas a las ascensiones capilares, se distinguen visualmente por la coloración diferente de la parte húmeda de la del resto del paramento a lo largo de su franja inferior o en torno a una zona más puntual o concentrada. Su altura va en función del caudal y de la presión del agua en la base del muro, de la presencia más o menos abundante de poros capilares en el material o materiales que lo conforman, y, finalmente, de la temperatura y la humedad relativa ambiente, puesto que con temperaturas bajas y humedad relativa elevada el nivel aumenta y viceversa, con temperaturas altas y humedad relativa baja el nivel desciende. Las aureolas superiores de las manchas de tonalidades diversas muestran a veces estas variaciones cíclicas de altura. Otras veces, en la parte superior de las manchas es visible la presencia de eflorescencias de coloración blanquecina originadas por la recristalización de las sales arrastradas por el agua en su subida por el muro (ver también [Anomalía 49](#)). Por otra parte, la presencia permanente o semipermanente del agua puede inducir a la formación de moho o a la deliquesencia de los materiales en la parte húmeda del muro ([fig. 33-1](#), [fig. 33-2](#)).

Las ascensiones capilares del agua contenida en el terreno pueden afectar también a las soleras de la planta baja, en especial cuando presentan incorrecciones constructivas por estar desprovistas de encachado por debajo de la losa de hormigón o por la deficiente solución de su contacto con los muros, que permite el paso de la humedad ascendente a través de las juntas entre ambos elementos. Cuando el contacto horizontal con el terreno se resuelve con cámara sanitaria cubierta por un forjado resistente, la problemática suele ser menor, aunque son posibles las inundaciones provocadas por las filtraciones del agua a través de la cimentación y a veces también a través del propio terreno anegado, cuando en régimen de lluvias se generan niveles subálveos de agua en la zona colindante al edificio ([Anomalía 35](#)).



Fig. 33.2. Eflorescencias salinas aureolando las manchas de humedad ascensional. En la foto de la izquierda, vestíbulo de edificio urbano con manchas producidas por la rotura del albañal. En la foto del centro, formación de moho en un muro húmedo de planta baja. En la foto de la izquierda, deliquesencia del revestimiento exterior producido por la presencia continuada de agua.

Pautas para la intervención

Muchas son las soluciones que se pueden aplicar para eliminar o reducir suficientemente los problemas de las ascensiones de agua por capilaridad en los muros. La elección del método dependerá del origen del agua, de las posibilidades de acceso por el exterior del edificio y de las características de muro. A partir de algunas de las similitudes que presentan estos métodos, se han subdividido en cuatro grandes grupos que se exponen a continuación.

Aumento de la ventilación del muro

Los recursos más sencillos consisten en la colocación de simples ladrillos cerámicos porosos huecos de formas variadas (triangulares, octogonales, etc.), denominados higróconectores cerámicos, alineados o repartidos homogéneamente en la sección del muro y con uno de sus extremos abiertos al ambiente exterior. Algunos tipos llevan incorporados una rejilla y unos filamentos metálicos que lo conectan con el extremo interior con el fin de reforzar la entrada del aire mediante el efecto electroosmótico que se expondrá más adelante (fig. 33-3). Hay que tener presente que dichos sistemas son limitados en cuanto a su capacidad desecante y que generan puntos de mayor transmitancia térmica en el muro coincidiendo con su ubicación. Otra forma de conseguir reducir o anular los efectos de las humedades en el zócalo del edificio consiste en separar el terreno de la base del muro para facilitar su ventilación. La excavación de una zanja perimetral para la disposición de cavidades ventiladas junto al muro o para la construcción de cámaras angostas, cámaras bufas o galerías, e incluso un patio inglés, es favorable a la ventilación y secado de los muros afectados (fig. 33-3).

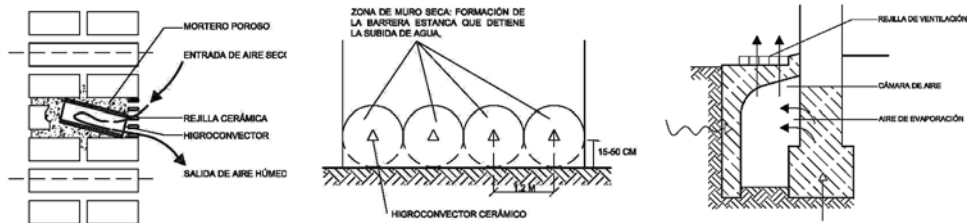


Fig. 33.3. En el gráfico de la izquierda, ubicación de un ladrillo de ventilación en la sección del muro. En el del centro, disposición de los ladrillos para formar la sección horizontal estanca en el muro. En el de la derecha, esquema de una cámara de ventilación perimetral para propiciar el secado del muro húmedo.

Eliminación del contacto del agua remansada junto al muro

Se consigue por medio de la disposición de un drenaje junto al muro en la zona en que se halle afectado por la humedad ascensional. Es una de las soluciones más aplicadas cuando se dispone del espacio exterior colindante al edificio. El drenaje consiste en el relleno con un material filtrante no cohesivo, generalmente gravoso o arenoso, de una rasa excavada en el lateral externo del edificio hasta el firme de cimentación. En la parte inferior de la zanja se dispone un tubo de dren o colector, a base de piezas agujereadas o con juntas abiertas entre ellas, para recoger el agua presente en el relleno filtrante (fig. 33-4). En ocasiones, dependiendo del terreno y del caudal de agua infiltrada, una acera perimetral pavimentada de ancho variable según el caso, con pendiente en dirección contraria al muro, puede suplir la acción del drenaje, al alejar del edificio el terreno humedecido por la lluvia, evitando así su contacto.

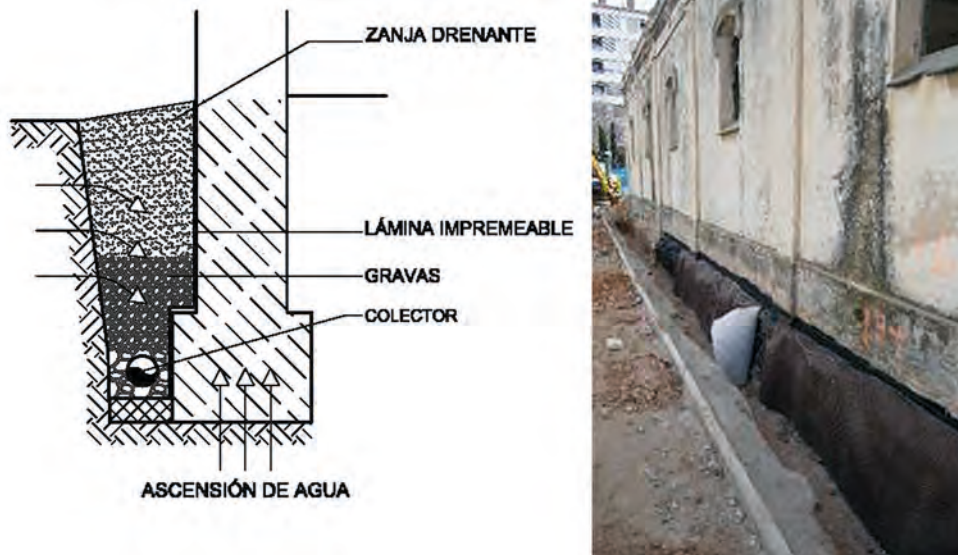


Fig. 33.4. Esquema de drenaje dotado de tubo dren y zanja rellena con grava la parte inferior y con arena gruesa la superior. En la foto, ejemplo de zanja de drenaje con membrana impermeable recubriendo el muro en contacto con el relleno de la zanja.

Freno a las subidas capilares por la interposición de un material de estanqueidad en la sección del muro húmedo

El aserrado de la sección del muro para interponer una lámina de estanqueidad constituye un procedimiento radical para interrumpir de forma permanente las subidas de agua por los capilares del material o materiales que lo conforman. Suelen ser realizados por empresas especializadas siguiendo procedimientos más o menos mecanizados. Todos los materiales presentes en la sección del muro deben disponer de la cohesión suficiente para soportar la falta de apoyo temporal en el correspondiente tramo durante el proceso de ejecución del corte hasta su retacado una vez introducida la lámina de estanqueidad, convenientemente solapada (fig. 33-5). Estos métodos, basados en la formación de una barrera anticapilar por interposición de lámina estanca, tienen la ventaja sobre los anteriores de no requerir de espacio adicional para su aplicación. Su puesta en obra suele ser por el exterior del cerramiento. La elección de la junta donde aplicar el corte o disponer la lámina debe hacerse de modo que queden completamente interrumpidos todos los posibles recorridos del agua en la zona de contacto con la solera, interponiendo si es preciso un tramo de estanqueidad vertical adicional en la conexión entre ambos.

Se puede también conseguir el efecto de corte de la ascensión capilar del agua con efectos similares a la interposición física de una membrana, mediante la introducción de un material (los más utilizados son los compuestos a base de siliconas) que colmata los poros en torno al punto de introducción. El líquido se introduce por infusión (sin presión) o por inyección (con presión) en la sección del muro (fig. 33-6). A diferencia de los cortes en los muros, estos procedimientos pueden aplicarse por el interior o por el exterior de los recintos. En todo caso, resulta conveniente practicar una fase de prueba con el fin de verificar el radio de difusión del producto introducido.



Fig. 33.5. Ejemplo de ejecución de corte con sierra de manejo manual por una junta de la fábrica y disposición de apoyos provisionales hasta su retacado con mortero.

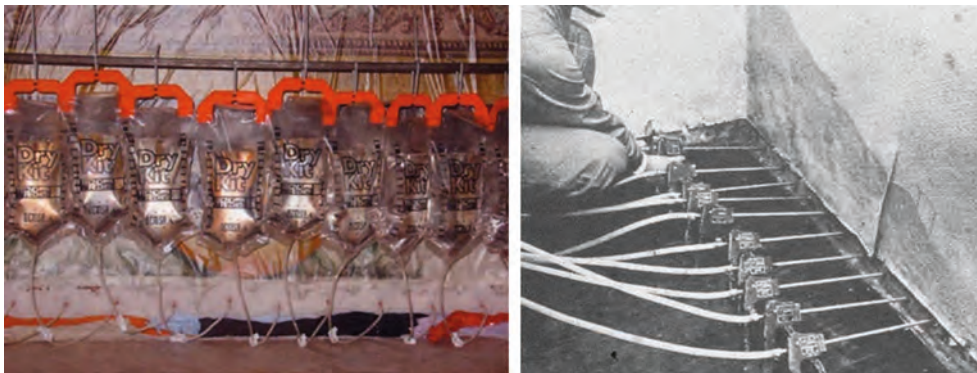


Fig. 33.6. En la foto de la izquierda, disposición de los recipientes de los productos de infusión. En la foto de la derecha, disposición de las boquillas de los productos de inyección.

Reducción de la fuerza ascensional del agua

Los procedimientos denominados electroosmóticos se fundamentan en la creación de un circuito eléctrico entre el muro húmedo y el terreno. En esta situación el agua presente en el muro pierde fuerza ascensional y tiende a evaporarse o a emigrar hacia el ánodo generado en el terreno y, en consecuencia, a provocar la desecación del muro. La forma de concretar la activación de esta corriente es disponiendo unas picas metálicas de acero en el terreno, conectándolas por filamentos de cobre a unas placas también de cobre embutidos en el muro. El muro húmedo actúa de electrólito, las picas metálicas de cátodo y las placas de cobre de ánodo. Dado que la intensidad generada solamente por la diferencia de humedad entre muro y terreno, denominada electroosmosis pasiva, suele ser insuficiente y el circuito tiende a pasivarse con las corrientes vagabundas y las sales presentes, es preciso asegurar su actividad disponiendo una batería o generador de electricidad de baja intensidad



capaz de mantener el voltaje mínimo para su funcionamiento, recibiendo entonces el nombre de electroosmosis activa. El uso de un producto de foforesis en forma de mortero con partículas electroactivas provoca a su vez el taponamiento de los poros desecados por el descenso del agua. En este caso recibe el nombre de electroosmoforesis (fig. 33-7). La aplicación de un revestimiento con mortero poroso u osmótico sustituyendo al existente en la zona afectada del muro húmedo se aplica en ocasiones para reforzar la acción de secado.

Está en auge la aplicación de los denominados sistemas inalámbricos, cuyo funcionamiento se basa en la inversión del campo eléctrico entre el muro y el terreno generado por las ondas electromagnéticas emitidas por un dispositivo que no requiere de obras específicas para su instalación. Estos sistemas consiguen el mismo efecto de inversión de la polaridad del muro que los sistemas electroosmóticos anteriormente comentados, consiguiendo con ello el descenso de la humedad presente en sus capilares.

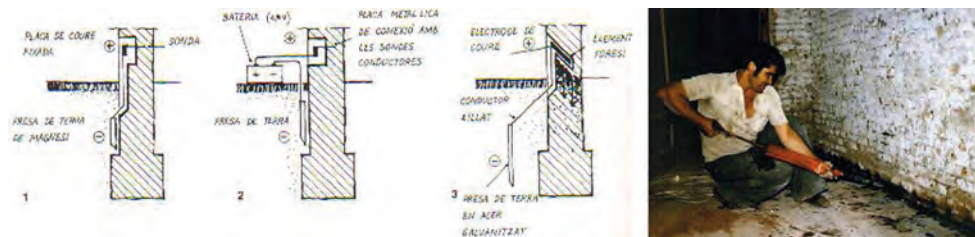


Fig. 33.7. En los gráficos, esquema del funcionamiento de los tres sistemas citados: 1) electroosmosis pasiva; 2) electroosmosis activa; 3) electroosmoforesis. En la foto, un momento de la introducción del material de foforesis en las perforaciones practicadas en el muro.

Complemento bibliográfico

CESARI, C. *et al.* (1993). "Humitats: Tècniques d'anàlisi i d'intervenció". *Manual de diagnosi i tractament d'humitats*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 11-43).

CIGNI, G., CODACCI, B. (1987). *Umidità e degrade negli edifice. Diagnosi e rimedi*. Ed. Kappa, Roma (cap. 1, pp. 7-11; cap. 4, pp. 70-114).

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Protección de suelos (soleras, losas) frente al agua procedente del terreno". *Prevención de humedades I*. Manuales profesionales X, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 157-165).

DUELL, J., LAWSON, F. (1983). *Damp proof course detailing*. The Architectural Press. Londres.

GARCÍA-MORALES, S. (2007). "Reconocimiento de los tipos de humedad: causas y lesiones producidas". *Método RehabiMed Arquitectura Tradicional Mediterránea II. Rehabilitación. El edificio*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 225-235).

MUNDULA, I., TUBI, N. (1999). "Tecniche di intervento". *Umidità e risanamento negli edifici in muratura*. Maggiore ed. San Marino (cap. VII, pp. 83-148).



ORTEGA, F. (1994). "La humedad ascendente". *Humedades en la edificación*. EDITAN, Sevilla (cap. IV, pp. 101-138).

PEIXOTO DE FREITAS, V., TORRES, M. I., GUIMARAES, A. S. (2008). *Humidade ascensional*. FEUP edições, Porto.

PINTO GUERRA, E. (2011). "Rassegna dei modi di prevenire l'ingresso di nuova acqua e di nuovi sali nei muri" y "Soluzioni per il risanamento". *Risanamento di murature umide e degradate, sintomi e cause, rimedi, soluzioni progetturali*. Dario Flaccovio Editore s.r.l (cap. 8, pp. 195-232; cap. 9, pp. 233-266).



Anomalía 34

Filtraciones de agua contenida en el terreno en muros de contención de sótanos

Las humedades en muros de contención de tierras situados en los sótanos de los edificios son una de las anomalías más comunes en los edificios como consecuencia de las filtraciones provenientes del agua de lluvia contenida en el terreno, de los conductos enterrados de las instalaciones del propio edificio o de las alcantarillas públicas. En estos muros, hay que considerar, además, como factor añadido a los que provocan habitualmente las filtraciones, el posible efecto de la presión hidrostática que se genera cuando el muro interrumpe un nivel freático o subálveo del terreno, puesto que a partir de dicho nivel se le suma el de la presión hidrostática que genera el agua contra el muro, la cual alcanza un valor de 1 kg/cm^2 cada 10 metros de profundidad.

En los muros de escasa altura a base de ladrillo o de mampostería, usuales en edificios antiguos, las filtraciones se producen por las juntas entre las piezas y también por la masa del material en el caso de muros de ladrillo. Los muros de contención a base de hormigón en masa o de hormigón armado son los más abundantes en la edificación moderna, especialmente los de hormigón armado, tanto en profundidades de una planta sótano como de muchas más plantas. Las filtraciones de agua en estos muros se producen habitualmente por las juntas de hormigonado, tanto horizontales como verticales, y por las fisuras debidas a la retracción hidráulica u otras causas (fig. 34-1).



Fig. 34.1. Humedades en los muros de contención de hormigón armado de un sótano destinado a aparcamiento de vehículos. En la foto central se distingue claramente la coincidencia de una de las manchas con una fisura y en la de la derecha con la entrega superior del muro con el forjado.

Pautas para la intervención

La actuación más recomendable es eliminar el contacto con el terreno exterior o disponer de una lámina o revestimiento de estanqueidad por el exterior del elemento, con el fin de preservar de los efectos de la humedad continuada a los materiales del muro, en especial si contienen armaduras de acero en su interior. Pero estas soluciones son de aplicación solo en muros de escasa profundidad, a lo sumo de una planta, y con posibilidad de acceso por el exterior del edificio, lo cual en la práctica las hace inaplicables en muchos casos.

Las soluciones más frecuentes son las que se realizan por el interior del edificio, aunque con ello no se evita la presencia de agua en el interior del material del muro. Entre estas soluciones, la más habitual es la aplicación sobre el paramento interior del muro de algún revestimiento hidrófugo de altas prestaciones, con capacidad adherente para soportar, en su caso, la presión hidrostática a que se halle sometido. Como solución alternativa aplicada en algunos sótanos, cabe la disposición de tabiques de doblaje que formen con el muro húmedo una cámara, cuyas condiciones de ventilación hacia el interior o el exterior del edificio pueden variar según la conveniencia y posibilidades de abertura a ambientes secos (fig. 34-2). Cabe la posibilidad en algunos casos de que dichas cámaras alojen en su interior un sistema de desagüe del agua infiltrada que transcurra de planta a planta hacia la alcantarilla o estaciones de bombeo según sea la cota de profundidad del punto de desagüe (fig. 34-3).

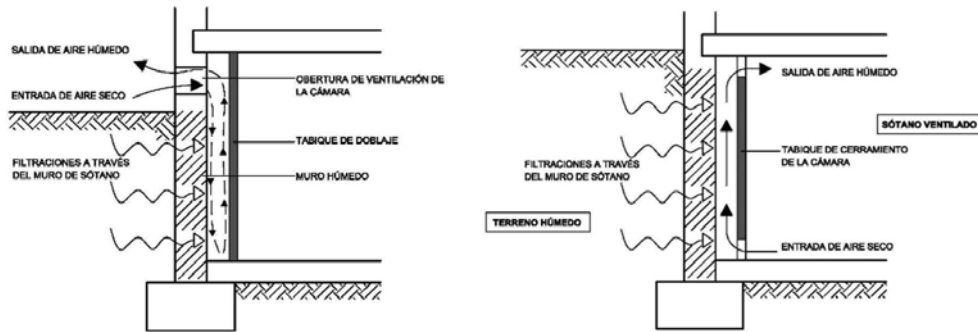


Fig. 34.2. Esquemas de soluciones de doblaje interior con previsión por el exterior y el interior

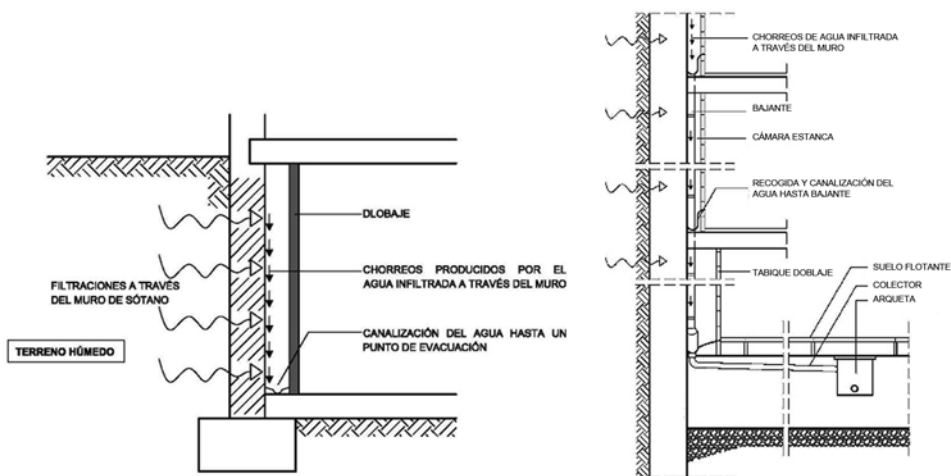


Fig. 34.3. A la izquierda, esquema de solución de doblaje con disposición de desagüe en un edificio con una sola planta sótano. A la derecha, edificio con varias plantas sótano con formación de cámara en el muro pantalla perimetral de hormigón armado y sistema de desagüe del agua infiltrada en su interior hacia estación de bombeo.

Complemento bibliográfico

CESARI, C. *et al.* (1993). "Humitats: Tècniques d'anàlisi i d'intervenció". *Manual de diagnosi i tractament d'humitats*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 11-43).

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Tratamiento frente al agua por el intradós en muros y pantallas de hormigón". *Prevención de humedades I*. Manuales profesionales X, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 175-183).

GARCÍA MORALES, S. (1993). "Metodologia de diagnòstic d'humitats. Una aproximació sistemàtica". *Manual de diagnosi i tractament d'humitats*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 45-68).

LASHERAS, F. (1999). "Humedades en obras enterradas. Técnicas de drenaje e impermeabilización". *Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas* (cap. 29-45).

ORTEGA, F. (1994). "Humedades en sótanos". *Humedades en la edificación*. EDITAN, Sevilla (cap. VI, pp. 195-220).

SCARZELLA, P., ZERBINATTI, M. (2009). "Risanamento delle parti base degli edifici in muratura". *Recupero e conservazione dell'edilizia storica*. Alinea ed., Florencia (Parte II.1, pp. 56-81).

SCHILD, E. *et al.* (1979). "Prevención de defectos en sótanos y drenajes". *Estanqueidad e impermeabilización en la edificación*. Editores Técnicos Asociados, Barcelona.

PINTO GUERRA, E. (2011). "Rassegna dei modi di prevenire l'ingresso di nuova acqua e di nuovi sali nei muri" y "Soluzioni per i risanamento". *Risanamento di murature umide e degradate, sintomi e cause, rimedi, soluzioni progettuali*. Dario Flaccovio Editore s.r.l (cap. 8, pp. 195-232; cap. 9, pp. 233-266).

Anomalía 35

Humedades e inundaciones en las cámaras sanitarias

Con la denominación de cámara sanitaria de un edificio nos referimos al espacio comprendido entre el terreno y el forjado del suelo de la planta baja. Este espacio, de altura generalmente inferior a 1,5 metros, es por donde transcurren los conductos horizontales o colectores de evacuación de las aguas residuales. En muchos edificios (en especial los construidos en los años 50 y 60 del pasado siglo) es un lugar con escasa o nula ventilación y con dificultades de acceso por su reducida altura (fig. 35-1, fig. 35-2). Estas condiciones facilitan que sea propenso a experimentar los efectos derivados de las carencias de mantenimiento de los componentes del sistema de evacuación horizontal, lo cual repercute en forma de inundaciones producidas por las pérdidas y roturas, tanto de los conductos que por allí discurren como de las arquetas de conexión, con las consiguientes consecuencias sobre sus condiciones higiénicas y de salubridad. Por otra parte, la saturación por humedad del ambiente y de los elementos constructivos en contacto con las aguas negras estancas, así como la carencia de ventilación original, aceleran los procesos de corrosión de los elementos de hormigón armado contenidos en su interior. Todo ello lo transforma en un recinto especialmente insalubre y con abundante presencia de elementos dañados.

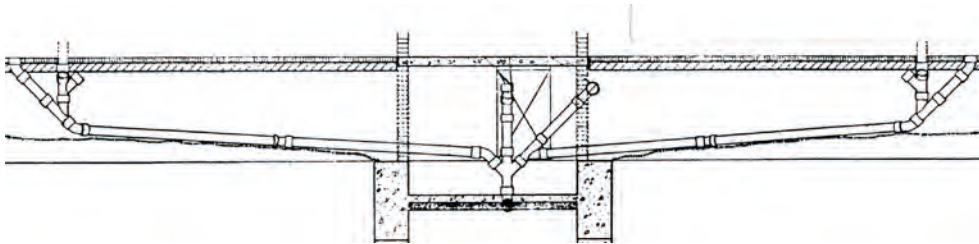


Fig. 35.1. Modelo de cámara sanitaria para edificios destinados a vivienda de principios de los años 60 del pasado siglo.



Fig. 35.2. Ejemplos del interior de algunas cámaras sanitarias. Se observa la presencia de conductos de evacuación y, en la foto de la derecha, los nervios de hormigón armado del forjado con síntomas de alteración.



Pautas para la intervención

Las intervenciones que requieren estos espacios van dirigidas en la mayor parte de los casos a dotar o aumentar sus condiciones de ventilación cruzada, abriendo orificios de salida en los muros de cerramiento exteriores hasta conseguir unos niveles iguales o superiores al 10 % de la superficie en planta de la cámara (fig. 35-3). Esta operación suele realizarse conjuntamente con la mejora de las condiciones de estanqueidad de los elementos en contacto con el terreno, así como con la renovación casi siempre necesaria de las redes de evacuación que por allí discurren, y en especial de los albañales. A veces, cuando su altura es claramente insuficiente para su mantenimiento, es conveniente la excavación de zanjas junto a los conductos que permitan ejecutar las tareas de inspección, reparación o renovación necesarias. Conjuntamente a estas actuaciones, se requiere la inspección y, en su caso, la reparación de los elementos de hormigón armado o acero afectados por la corrosión de sus armaduras. En ocasiones, puede considerarse necesario la sustitución completa de la solera inicial por una nueva solución de contacto con el terreno que eleve el pavimento, que lo separe del terreno y permita el paso de los conductos por el nuevo espacio generado entre el terreno y la nueva solera elevada (fig. 35-4).



Fig. 35.3. Ejemplos de disposición a posteriori de rejillas de ventilación de las cámaras sanitarias en los edificios de un barrio residencial.

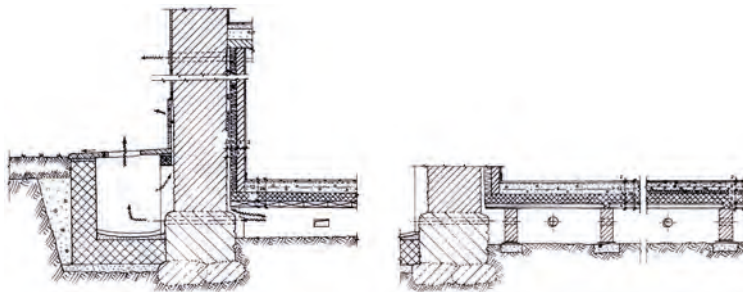
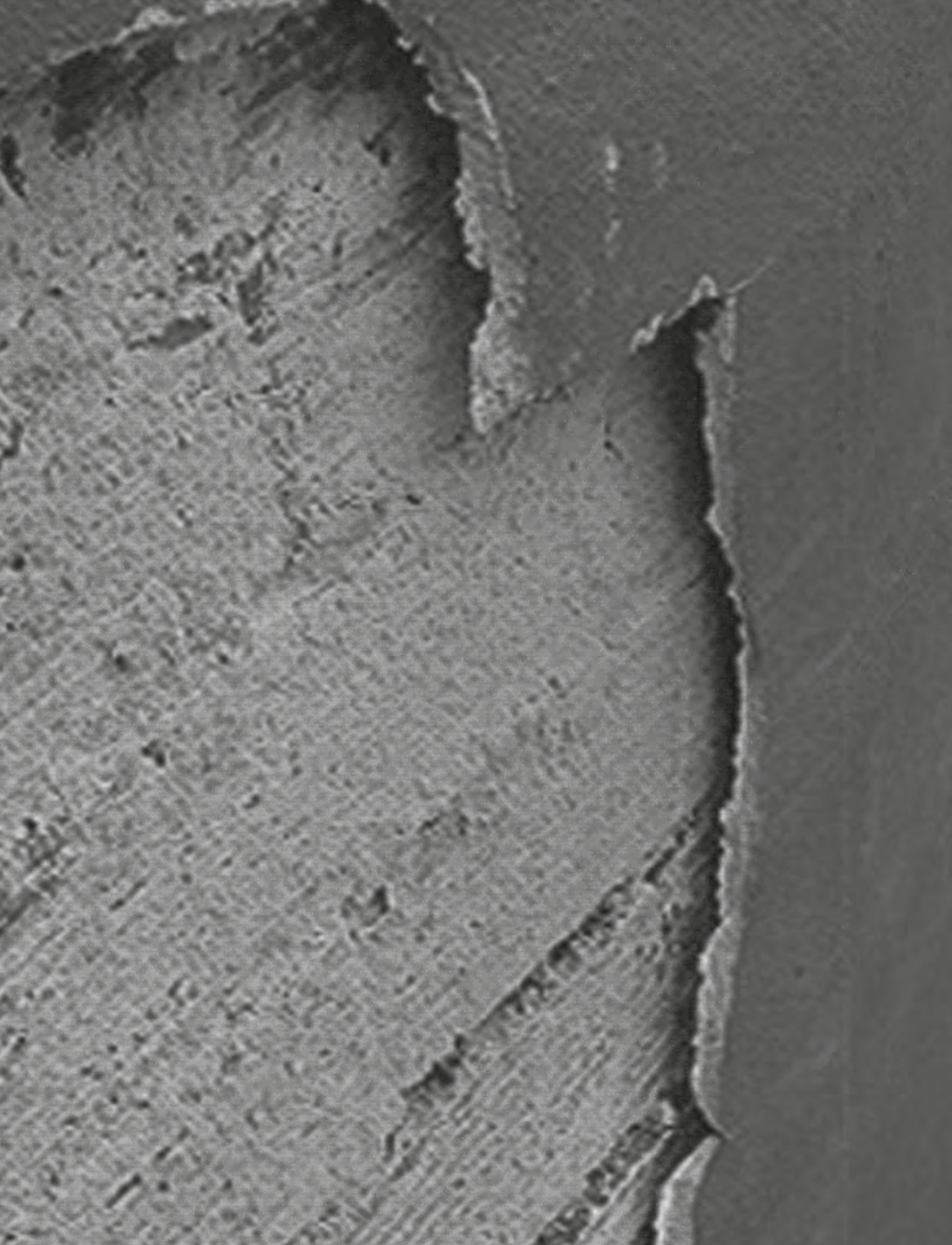


Fig. 35.4. Detalles de sustitución total de la solera por soluciones que liberan el paso de instalaciones, mejoran las condiciones de aislamiento térmico y proveen de ventilación al espacio de la nueva cámara no transitabile.

Complemento bibliográfico

PINTO GUERRA, E. (2014). "Rassegna dei modi di prevenire l'ingresso di nuova acqua e di nuovi sali nei muri" y "Soluzioni per il risanamento". *Risanamento di murature umide e degradate, sintomi e cause, rimedi, soluzioni progetturali*. Dario Flaccovio Editore s.r.l (cap. 8, pp. 195-232; cap. 9, pp. 233-266).

SCARZELLA, P., ZERBINATTI, M. (2009). "Risanamento delle parti base degli edifici in muratura". *Recupero e conservazione dell'edilizia storica*. Alinea ed., Florencia (Parte II.1, pp.56-81).





EX2. ENVOLVENTE EXTERIOR: FACHADAS, CERRAMIENTOS VERTICALES

- Anomalía 36.** Grietas y abombamientos en fachadas de ladrillo visto apoyadas parcialmente en los forjados
- Anomalía 37.** Desprendimientos y grietas en los revestimientos continuos de cal o cemento portland de los cerramientos exteriores
- Anomalía 38.** Grietas de retracción en los muros de albañilería con revestimiento continuo
- Anomalía 39.** Desprendimiento de los recubrimientos de losetas cerámicas en las fachadas
- Anomalía 40.** Desprendimiento de los recubrimientos de piedra natural o artificial en las fachadas
- Anomalía 41.** Desprendimiento de los materiales de recubrimiento en los cantos de los forjados
- Anomalía 42.** Grietas en las fachadas debidas al choque térmico
- Anomalía 43.** Desprendimientos en barandillas, aleros y otros elementos fachada
- Anomalía 44.** Humedades de condensación en muros y techos de los recintos habitados
- Anomalía 45.** Filtraciones del agua de riego de las jardineras de obra cerámica incorporadas en las fachadas
- Anomalía 46.** Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de ladrillo visto
- Anomalía 47.** Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de hormigón visto
- Anomalía 48.** Filtraciones de agua de lluvia por las juntas entre materiales, vierteaguas y encuentros de las carpinterías con la obra
- Anomalía 49.** Formación de eflorescencias y criptoeflorescencias en las fachadas de ladrillo visto
- Anomalía 50.** Erosión de los muros de piedra por los efectos de los agentes ambientales
- Anomalía 51.** Acción de los agentes inductores de la suciedad en las fachadas



Anomalía 36

Grietas y abombamientos en fachadas de ladrillo visto apoyadas parcialmente en los forjados

Se hace referencia a las fachadas de ladrillo visto cuya hoja exterior de media asta (12 a 14 cm) apoya parcialmente en forjados planos de hormigón, aparentando su continuidad en toda la altura del edificio. Así pues, su sección queda interrumpida en el canto del forjado de cada planta, el cual es recubierto con piezas de menor grosor del mismo material cerámico que el resto del muro. En este tipo de solución, si bien los daños pueden presentar formas diversas, los que se manifiestan con mayor frecuencia suelen ser en forma de grietas verticales en las esquinas salientes del cerramiento, preferentemente a media altura o en el tercio inferior de la fachada, generalmente más anchas en su parte central, que marcan situaciones tensionales de flexocompresión del elemento (fig. 36-1). Su evolución puede ser variable, a veces se estabilizan al cabo de unos meses o pocos años y a veces son progresivas. En su actividad inciden los aumentos de esbeltez por la paulatina pérdida de vínculos con los forjados o las redistribuciones de cargas originadas por movimientos de fluencia de los forjados.



Fig. 36.1. En las tres fotos de la izquierda, edificio de 10 plantas con fisuras en el tercio inferior de las esquinas salientes. En la foto de la derecha, colapso de un tramo intermedio de una fachada de un edificio de 19 plantas. En ambos edificios el apoyo de los muros en los forjados era escaso.

Las causas que generan este tipo de anomalía son muy diversas y se presentan casi siempre de forma conjugada. Cabe considerar la incidencia de la magnitud de la superficie de apoyo, más o menos parcial, de la hoja exterior en relación con el



plano del canto del forjado (fig. 36-2), la posibilidad del uso de cerámica con excesiva expansividad por humedad, los efectos de las acumulaciones de cargas no previstas a través de los forjados en su movimiento de flexión diferida impedida por el cerramiento en contacto, y los efectos de las dilataciones térmicas verticales, también impedidas, en el plano de las fachadas. Es por estas dos últimas causas que los edificios altos, a partir de las 8 o 9 plantas, son los más afectados. La detección del daño aconseja realizar el seguimiento de la evolución de los daños y adoptar medidas cautelares si se descubre que aumentan.

Además de la formación de grietas, pueden formarse abombamientos en las zonas de menor sección del muro, coincidentes normalmente con los recubrimientos de los cantos de los forjados y la cobertura de los cajones de persianas (fig. 36-3). En estas zonas, en donde el grosor de la pared se reduce a valores en torno a los 5 - 7 cm, los efectos térmicos y el posible traspaso de cargas a través de los forjados son especialmente intensos, curvando tramos de fábrica más o menos extensos hacia el exterior, en un proceso progresivo que puede llegar a provocar su desprendimiento y caída. La presencia de ladrillos susceptibles de expansión por humedad de la cerámica puede también ser la causa o la concausa de estas anomalías.



Fig. 36.2. Ejemplos de recubrimientos de cantos de forjado cuyo grosor constata el escaso apoyo del muro en su forjado, y el consiguiente traspaso de cargas a través de los recubrimientos del mismo tipo de ladrillo.



Fig. 36.3. Abombamientos progresivos y desprendimientos de tramos de muros en edificios de altura superior a las 12 plantas.

Pautas para la intervención

El procedimiento que se recomienda en estos casos consiste en la eliminación de los contactos entre las fachadas y los forjados, con formación de junta elástica entre cada nivel para eliminar la posibilidad que se transmitan tensiones de planta a planta. La colocación de angulares metálicos de apoyo fijados a los cantos de los forjados, para suplementar la insuficiencia de apoyo del muro en dichos elementos, puede ser suficiente cuando la causa del daño proviene fundamentalmente de esta anomalía. Asimismo, estos angulares se pueden integrar en la solución constructiva adoptada para la formación de la junta, la cual no necesariamente debe coincidir con el contacto muro-forjado. Otra posible ubicación de la nueva junta puede ser el plano horizontal de los dinteles, con lo cual se minimiza la longitud de la nueva junta al hacer innecesario el nuevo corte en la anchura de todas las aberturas. En todo caso, será preciso resolver el equilibrio a vuelco de los tramos de cerramiento desconectados superiormente (fig. 36-4, fig. 36-5). Este último aspecto es especialmente importante en zonas de alta sismicidad.

Otro procedimiento posible, aunque poco aplicado por su alto costo y cambio completo de imagen, es la disposición de un cerramiento ligero por delante de la fachada afectada, fijado a los elementos estructurales (cantos de forjados y pilares). El nuevo cerramiento ha de ser capaz de impedir la caída de las piezas o tramos de muro de ladrillo susceptibles de desprenderse.



Fig. 36.4. Formación de junta elástica horizontal y disposición de angular de apoyo en la línea de dinteles mediante la extracción y reposicionado de dos hiladas de ladrillo. Los tubos de sujeción del angular se prolongan verticalmente hacia abajo para prever puntos de fijación que evitan el vuelco del muro, pero permiten su libre desplazamiento vertical.





Fig. 36.5. Disposición de angulares metálicos fijados a los cantos de los forjados planos para complementar el apoyo del muro.

Para la reparación de los abombamientos suele optarse por la extracción y sustitución de la zona afectada por un material laminar o con piezas prefabricadas cerámicas o de hormigón (fig. 36-6). La sustitución mimética con obra de fábrica también es una solución aplicada, que requiere del uso de un mortero más deformable que el sustituido o de la disposición de juntas de movimiento efectivas con el resto de fachada.

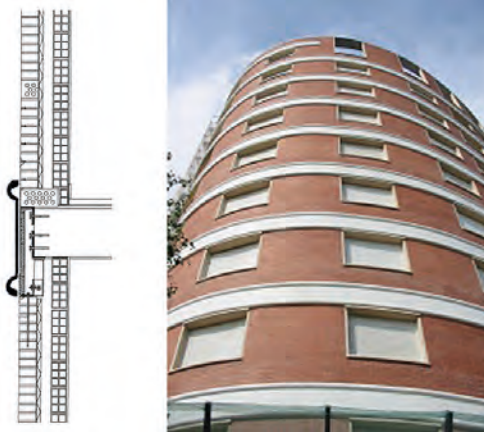


Fig. 36.6. Sustitución de las zonas afectadas por abombamiento por franjas de piezas de hormigón polímero, con disposición previa de perfil metálico de apoyo fijado a los cantos del forjado y mecanismo de previsión para evitar el vuelco y permitir el movimiento vertical del muro en cada planta.

Complemento bibliográfico

ADELL, J. M. "Cerramientos de hojas de fábrica de ladrillo cara vista". Ficha Fachadas núm. 4. Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

DÍAZ, C., CORNADÓ, C. (2020). "Damage in face-brick facades placed between concrete slabs". *Revista Journal of Building Engineering* (Vol. 30, julio 2020).

DÍAZ, C., CORNADÓ, C. (2021). "Repair of face brick facades sustained in reinforced concrete slabs". *Case Studies in Building Rehabilitation*. Springer Verlag (Chap. 4).

DÍAZ, C. (2006). "Patología e intervención en fachadas de ladrillo visto". Libro de Actas 2º Encuentro Nacional sobre Patología y Rehabilitación de Edificios, PATORREB-2006, Porto (Vol. 1, pp. 9-18).

MAÑÀ, F. (2004). "La Fachada de obra vista". *La seguridad de las estructuras de fábrica*. Col·legi d'Arquitectes i Arquitectes Tècnics de Tarragona (cap. 12, pp. 101-108).



Anomalia 37

Desprendimientos en los revestimientos continuos de cal o cemento portland de los cerramientos exteriores

Desde la perspectiva de la seguridad de las personas, los desprendimientos de materiales de las fachadas y, más en general, desde los cerramientos verticales de edificios, constituyen situaciones de riesgo importantes. Los revestimientos continuos, también denominados revocos, a base de cal o cemento portland, aplicados con la finalidad de dotar de estanqueidad a los muros o con fines solamente decorativos, son objeto de desprendimientos cuando se reducen o anulan las fuerzas de adherencia que los mantienen unidos directamente al paramento del muro o a la capa anexa anterior con la que contactan.

Los procesos de desadherencia pueden ser más o menos generalizables o prolongados en función de una multitud de factores (fig. 37-1). Cabe citar, entre ellos, las fuerzas de adherencia iniciales entre muro y revoco, la presencia de vapor de agua condensable entre los dos materiales, y la cantidad de sales recristalizadas presentes en el interior del muro, arrastradas por el agua y acumuladas en las interfases entre dos capas o entre el muro y el revoco (fig. 37-2). A estos factores hay que unir los efectos de las tensiones rasantes entre el revestimiento y el muro originadas por la incidencia de la radiación solar sobre el revestimiento, por las diferencias de inercia térmica entre los dos materiales o, incluso, por su diferente rigidez frente a las acciones mecánicas que reciben.



Fig. 37.1. Ejemplos de desprendimiento zonal del revestimiento en muros de materiales diversos.



Fig. 37.2. Ejemplos de procesos de desadherencia que muestran, en la foto de la izquierda, la fase de abombamiento anterior a su desprendimiento zonal, en la foto central, los síntomas de desadherencia en el contorno del revoco ya desprendida, y en la foto de la derecha, la presencia de un depósito de sal detrás del revestimiento.

Por otra parte, la presencia de filtraciones del agua de lluvia a través del revoco puede también ser la causa de la formación de los procesos de desadherencia y desprendimiento expuestos. Dichas filtraciones se producen habitualmente a través de las fisuras y grietas que presenta el revestimiento (ver [Anomalía 38](#)) o por la saturación del material que lo conforma. En general, los morteros de cal o que contienen cal son mucho más porosos, absorbentes y permeables al vapor de agua que los morteros de cemento portland. Una cualidad que les permite retener una mayor cantidad de agua en su masa de forma homogénea a través de toda su superficie antes de penetrar en el muro, y evaporar con facilidad dicha agua una vez finalizado el periodo de lluvia, reduciendo con ello el riesgo que el agua infiltrada llegue a atravesar el muro a no ser que la lluvia sea muy persistente. Los morteros de cemento Portland son mucho más impermeables y más rígidos que los morteros de cal, tanto más cuanto mayor es su dosificación en cemento Portland. Es por ello por lo que son más propensos a fisurarse y a que el agua que resbala por el paramento penetre de forma concentrada por sus fisuras y grietas, con mayor dificultad de evaporarse que en los morteros de cemento portland, debido a su relativamente escasa permeabilidad al vapor de agua (fig. 37-3). Los revestimientos a base de morteros denominados monocapa, a pesar de ser más elásticos que los realizados con morteros convencionales de portland, presentan en la práctica una casuística de fisurabilidad similar, debida probablemente a la multiplicidad de exigencias de puesta en obra que es preciso atender adecuadamente.

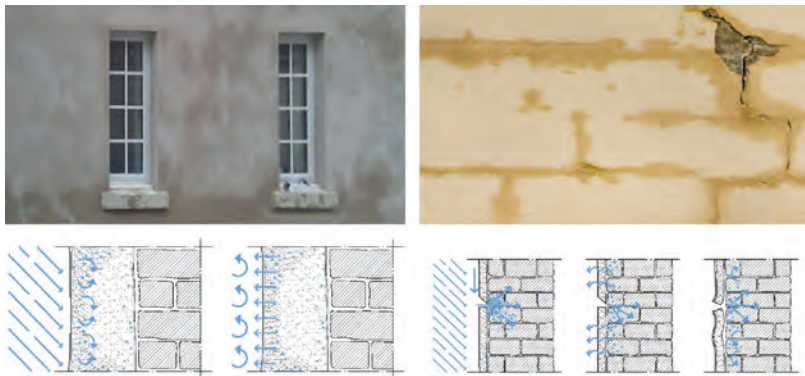


Fig. 37.3. En la foto de la izquierda, aspecto de un revoco de cal humedecido. En la foto de la derecha, aspecto de un revoco de cemento portland mostrando la penetración de agua por las fisuras.



Pautas para la intervención

En las actuaciones de inspección es recomendable revisar las condiciones de adherencia del revestimiento y descubrir visualmente la presencia de abombamientos, o verificar por golpeteo con martillo o utillaje similar la existencia de superficies desadheridas, detectables por su coincidencia con un inconfundible sonido a hueco.

Para la decisión sobre la intervención más conveniente a adoptar, se puede tomar como referencia el porcentaje de superficie desadherida en relación con el total de superficie revestida. En el caso que se decida su reposición por parcheo como alternativa a la reposición global, debe optarse por un mortero de las características lo más similares posible a las del resto de revestimiento, siguiendo estrictamente las prescripciones del nuevo mortero aplicado. Evidentemente, en los casos en que a la fachada se le atribuyan valores arquitectónicos patrimoniales, las decisiones sobre la forma, el método y el material a utilizar en la intervención se hallan condicionadas por la salvaguarda de este requisito.

Si la problemática se reduce a la presencia de grietas, en primer lugar, se debe diagnosticar la causa que las ha generado, y en los casos en los que dicha causa provenga de un movimiento del muro o del edificio, proceder primeramente a su reparación. La intervención concreta sobre las fisuras dependerá en estos casos de la solución aplicada. Cuando las fisuras se hallen estabilizadas o sean debidas a una problemática higrométrica pretérita propia del revestimiento, puede procederse a su sellado, cuyas características dependerán del material del soporte y del propio revestimiento, siguiendo las prescripciones del producto elegido (ver [Anomalía 38](#)).

Finalmente, el acabado de pintura que recubre los revestimientos puede modificar sus características, reduciendo su permeabilidad al vapor y aumentando su estanqueidad, si bien también puede actuar como una película con capacidad de obturar las fisuras. La aplicación de pinturas naturales transpirables, minerales u orgánicas, a diferencia de las pinturas plásticas que crean una película superficial no transpirable sobre el soporte, permite mantener las cualidades de los morteros anteriormente expuestas. En el caso de los morteros de cal, prácticamente mantendrán sus características de permeabilidad, absorción y porosidad.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1997). *Manual de prevención de fallos en los morteros monocapa*. Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos de Murcia (cap. 6 y 7, pp. 47-62).

ASEMAS, ANEFAPA. "Revocos en cerramientos con morteros monocapa". Ficha Revestimientos 6, Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

ASHURTS, J.&N. (1988). "External renders". *Practical building conservation*. Gower Technical Press (Vol. 3, cap. 4, pp. 16-26).

BARAHONA, C. (1999). "Revestimientos continuos: Técnicas de reparación y reposición. Operaciones de mantenimiento". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (Tomo 4, cap. III.3, pp. 291-299).



ESPUGA, J., BERASATEGUI, D., GIBERT, V. (1997). "Patologia dels esgrafiats i estucats tradicionals". *Arrebossats i estucats. Teoria i pràctica*. Edicions UPC (cap. 7, pp. 113-126).

MÉNDEZ, J. (1999). "Revestimientos monocapa: características y ejecución". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (Tomo 4, cap. III.4, pp. 301-315).

MONJO, J. (1999). "Desprendimientos". *Patología de cerramientos y acabados interiores* (cap. V, pp. 229-276).

SÁ, G., SÁ, J., DE BRITO, J. (2014). "Inspection and diagnosis system for rendered walls". *International Journal of Civil Engineering*. 12 (2) (pp. 279-290).

SOUSA, V., ALMEIDA, N., MEIRELES, I., DE BRITO, J. (2011). "Anomalies in Wall Renders: Overview of the Main Causes of Degradation". *International Journal of Architectural Heritage* 5:2 (pp. 198-218).

VILLANUEVA, L. (1999). "Patología de guarnecidos y revocos". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (Tomo 4, cap. III.2, pp. 281-283).

Anomalía 38

Grietas de retracción en muros de albañilería con revestimiento continuo

Las grietas denominadas genéricamente *de retracción*, ya tratadas en la [Anomalía 8](#) al hablar de su aparición en elementos de hormigón y hormigón armado, pueden también hacer su aparición sobre los revestimientos continuos de los muros de albañilería. Así, las grietas de afogado a las que se ha hecho ya referencia en la citada [Anomalía 8](#) pueden formarse en los revestimientos de mortero a base de cemento portland, sean o no monocapas, e incluso en revestimientos de morteros de cal, en tanto que todos ellos son materiales que contienen conglomerantes hidráulicos. El momento de su formación puede seguir las mismas pautas que en los elementos de hormigón al cabo de poco tiempo de su puesta en obra, aunque no es extraño que aparezcan mucho tiempo después, coincidiendo con unas condiciones de sequedad atmosféricas más extremas que las habituales o, en el caso de la cal, cuando su progresiva rigidización le rebaja su capacidad de resistir las tracciones sin fisurarse ([fig. 38-1](#)).



Fig. 38.1. En la foto de la izquierda y central, revestimiento monocapa de cemento portland afectado por afogado. En la foto de la derecha, revestimiento de cal con el mismo daño.

Por otra parte, los muros a base de bloques de hormigón revestidos con mortero de cemento portland pueden ser objeto de fisuras marcando las juntas de mortero ([fig. 38-2](#)), si los bloques no han experimentado todo su movimiento de retracción hidráulica antes de su puesta en obra o bien si el bloque absorbe excesiva agua del mortero en su fase de secado, provocando en éste una tracción excesiva cuando aún no ha adquirido suficiente resistencia. Una dosificación excesiva del cemento en el mortero puede también facilitar o provocar este esquema de fisuración al ser menor su plasticidad.

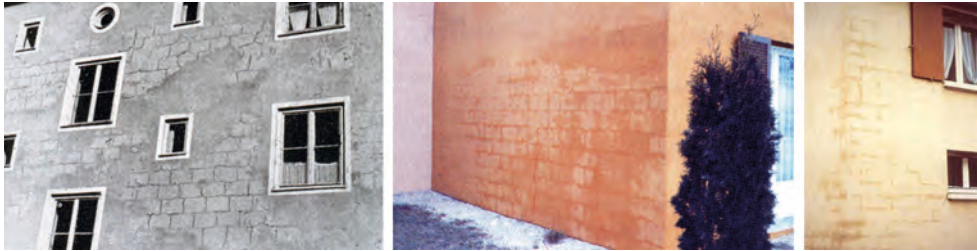


Fig. 38.2. Ejemplos de fisuración por retracción hidráulica en fachadas a base de bloques de hormigón revestida con mortero de cemento portland. En los tres casos, las fisuras se marcan en las juntas de las fábricas aún humedecidas después de la lluvia.

Otras formas de agrietamiento pueden también presentarse en los muros de albañilería a base de ladrillo o bloques de hormigón a causa de la retracción hidráulica del elemento al cabo de algunas horas o algunos días después de su puesta en obra, con el mortero de las juntas y del revestimiento ya endurecido, marcando los contactos con los elementos limítrofes laterales y superiores y las juntas frías de interrupción de la ejecución de la obra (fig. 38-3, fotos izquierda y central). Un plazo de tiempo demasiado corto entre la construcción del muro y la aplicación del revestimiento puede influir de forma determinante en su formación. Las barandillas de bloques de hormigón pueden sufrir también las consecuencias de estas fisuras, rompiéndose por sus extremos y generando situaciones de inseguridad (fig. 38-3, foto derecha).



Fig. 38.3. En las fotos de la izquierda y del centro, fisuración por retracción coincidiendo con juntas frías de la puesta en obra de los muros. En la foto de la derecha, situación inestable de una barandilla de hormigón ligero con grieta de retracción en uno de sus extremos.

Pautas para la intervención

Las grietas de afogado afectan solo al revestimiento, y su repercusión se circunscribe a la pérdida de protección estanca del muro que recubren. Cuando dicha repercusión sea notoria por la presencia de filtraciones a través del muro, será precisa la aplicación de una pintura o revestimiento con cualidades selladoras. Previamente se comprobarán las condiciones de adherencia del revestimiento fisurado, puesto que si son deficientes será precisa su sustitución total. La presencia de grietas de retracción hidráulica requiere, en cambio, de un análisis previo de su repercusión sobre las condiciones de estabilidad del elemento lesionado, puesto que puede



repercutir sobre sus condiciones de equilibrio cuando se halla expuesto a impactos o empujes de cierta intensidad, aspecto que se presenta con una frecuencia relativamente mayor en las barandillas de obra, como se ha expuesto anteriormente. En estos casos, se requerirá la restitución de la continuidad del elemento o puede ser preciso, incluso, el refuerzo de la zona fracturada de la obra.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1997). "Manual de prevención de fallos en los morteros monocapa". Colegio Oficial de Arquitectos Técnicos de Murcia (cap. 6 y 7, pp. 47-62).

ASEMAS, ANEFAPA. "Revocos en cerramientos con morteros monocapa". Ficha Revestimientos 6, Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

BARAHONA, C. (1999). "Revestimientos continuos: Técnicas de reparación y reposición. Operaciones de mantenimiento". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (Tomo 4, cap. III.3, pp. 296-299).

ESPUGA, J., BERASATEGUI, D., GIBERT, V. (1997). "Patologia dels esgrafiats i estucats tradicionals". *Arrebossats i estucats. Teoria i pràctica*. Edicions UPC (cap. 7, pp. 113-126).

JOISEL, A. (1975). "Causas de las fisuras". *Fisuras y grietas en morteros y hormigones*. Editores Técnicos Asociados (Primera parte, pp. 15-105).

MÉNDEZ, J. (1999). "Revestimientos monocapa: características y ejecución". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid, (Tomo 4, cap. III.4, pp. 301-315).

SOUSA, V., ALMEIDA, N., MEIRELES, I., DE BRITO, J. (2011). "Anomalies in Wall Renders: Overview of the Main Causes of Degradation". *International Journal of Architectural Heritage* 5:2,(pp. 198-218).

VILLANUEVA, L. (1999). "Patología de guarnecidos y revocos". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería (cap. 2, pp. 273-281).



Anomalia 39

Desprendimiento de los recubrimientos de losetas cerámicas en las fachadas

El motivo de preocupación más frecuente en las fachadas revestidas con losetas de gres cerámico de 10 x 20 cm o de 14 x 29 cm, o con plaquetas de ladrillo cerámico de unos 4 x 24 o 29 cm, es la posibilidad de desprendimiento de las piezas, con o sin material de agarre incorporado, y el subsiguiente riesgo potencial que se genera en el caso que pueda afectar a los transeúntes o a los usuarios del propio edificio. Sin duda, este riesgo se vio incrementado a partir de mediados del siglo pasado al adoptarse de forma habitual soluciones de cerramiento exterior de menor homogeneidad, y mayor complejidad y deformabilidad, que los clásicos muros gruesos de una sola hoja. A ello se debe la percepción de que los sistemas tradicionales de colocación de azulejos con morteros de cal sobre muros gruesos de mayor estabilidad térmica y dimensional eran más durables y seguros que los modernos sistemas a base de adhesivos y morteros cola, adoptados precisamente para contrarrestar la mayor deformabilidad de los nuevos muros (fig. 39-1). Por otra parte, la inexperiencia o la carencia de suficiente preparación específica o de control de ejecución en la aplicación de los nuevos adhesivos, explican el actual marco de desconfianza en este tipo de recubrimiento, en especial en sus aplicaciones en fachadas, alimentado por el elevado número de siniestros que se han presentado en plazos excesivamente cortos de tiempo desde su puesta en obra.



Fig. 39.1. En la foto izquierda, desprendimientos de losetas acaecidos a lo largo de los años sujetas con mortero de cal a un muro grueso. En la foto central, zonas con losetas desadheridas tomadas con mortero cola después de su revisión sistemática por golpeo superficial. En la foto derecha, plaquetas desadheridas con la misma problemática.



El estudio de la casuística de los desprendimientos observados en dichos recubrimientos (refiriéndonos concretamente a las modernas técnicas de aplicación con morteros cola dispuestos en capa delgada) permite descubrir la presencia de una multiplicidad de factores con posible incidencia que es preciso considerar y evaluar en cada caso concreto. Expuestos de forma sintética se relacionan en el [cuadro 39-1](#), distinguiendo para cada uno de ellos las anomalías más frecuentes que puede asociársele.

Cabe señalar que, en la práctica, en un sinnúmero de casos, estas anomalías no se presentan de forma aislada, sino que se combinan y sobreponen originando cuadros patológicos complejos que requieren de una toma de datos minuciosa, de la extracción de muestras testimonio y de la ejecución de pruebas y ensayos para dictaminar las causas que las generan y, en su caso, aquella que puede haber sido determinante en la formación de la anomalía. Cabe señalar también que, si bien no se dispone de estadísticas que ofrezcan una información pormenorizada sobre las causas que originan los desprendimientos de las piezas, es bien sabido que los factores que se reiteran con mayor frecuencia son las deficiencias en la aplicación de los productos y la insuficiente preparación del soporte, unido a la tradición de disposición de las piezas con juntas muy estrechas o a tope, lo cual dificulta la adecuación del movimiento del recubrimiento al inducido por el cerramiento y el adhesivo.

FACTOR	DEFECTO, DAÑO
Material del soporte	– Friabilidad, baja cohesión, menor que la resistencia a la adherencia del material de agarre a las baldosas y al propio soporte
Preparación del soporte	– Inexistencia de capa homogénea reguladora de planeidad y absorción – Presencia de líquidos desencofrantes o de otra índole – Limpieza insuficiente.
Características y disposición de las juntas	– Juntas a tope o de escasa anchura entre las baldosas cerámicas – Inexistencia o insuficiencia de juntas de movimiento térmico en el recubrimiento cerámico
Movimientos en el edificio o en la propia fachada	– Fisuras coincidentes con grietas originadas por la flexión de los forjados o por asentamientos diferenciales – Fisuras coincidentes con grietas de retracción hidráulica – Abombamientos debidos a la contracción del cerramiento de fachada por causas térmicas o acumulación de cargas
Aplicación de los productos	– Superación del tiempo de utilización del adhesivo – Superación del tiempo abierto de colocación de las baldosas sobre el adhesivo – Insuficiente presión de las baldosas sobre el adhesivo – Incumplimiento de las prescripciones referentes a la preparación de las baldosas – Incumplimiento de las prescripciones referentes a la mezcla del adhesivo o al grosor nominal del adhesivo sobre el soporte – Incumplimiento de las prescripciones de colocación de los productos
Adecuación y características de los productos aplicados	– Inadecuación del adhesivo a las características del soporte o de las baldosas – Prescripciones de aplicación insuficientes o erróneas – Propiedades de los productos no coincidentes con las establecidas en la homologación o especificación
Reología y cansancio de los materiales	– Reducción de las características de adherencia de los materiales en contacto – Aumento de las sollicitaciones rasantes por rigidización progresiva del material adhesivo o del soporte

Tabla 39-1. Relación de los agentes inductores de los desprendimientos y de los tipos de defectos o daños con los que se asocia cada uno de ellos.



Pautas para la intervención

Para definir la intervención es recomendable disponer de información sobre el aspecto del intradós de las piezas desprendidas o de las arrancadas exprofeso a modo de muestra. Su finalidad es conocer la localización del plano de desadherencia o de fractura y con ello poder determinar o acotar la causa o las causas de los fallos observados (fig. 39-2). Las posibles variantes que se pueden presentar son:

- Rotura adhesiva en la interfase loseta cerámica - mortero de agarre.
- Rotura cohesiva en la masa del mortero de agarre.
- Rotura adhesiva en la interfase mortero de agarre - soporte.
- Rotura cohesiva por el material del soporte.
- Rotura parcial cohesiva del material del soporte y adhesiva en la interfase mortero de agarre - soporte.

A partir de esta información puede deducirse que si el trasdós de la loseta muestra una fractura adhesiva entre dos de los materiales, la causa del fallo se hallará probablemente en las condiciones de colocación o en la elección del mortero de agarre. Si muestra roturas cohesivas no son de descartar causas que provengan directamente de la calidad de los materiales que conforman el soporte o el mortero de agarre; tampoco no se puede descartar una deficiente preparación de dicho mortero.



Fig. 39.2. Anomalías típicas en revestimientos de losetas cerámicas. Fotos superiores, de izquierda a derecha: a) Losetas colocadas a tope, desadheridas del soporte, con alta probabilidad de desprendimiento en tiempo ventoso o de alta temperatura. b) La visión del estriado del mortero indica que la presión de la loseta sobre el soporte fue escasa. c) Tramo de revestimiento con desadherencias del mortero al soporte y de la loseta al mortero. d) Rotura parcialmente cohesiva por el hormigón ligero del soporte y por el mortero de agarre. Fotos inferiores, de izquierda a derecha: e) Carencia de planeidad entre el pilar y el cerramiento de hormigón ligero corregido irregularmente. f) Doble plano de desadherencia entre loseta, mortero y soporte. g) Grosor de mortero de agarre excesivo. h) Momento de la ejecución de un ensayo de extracción pull-off.



Las pruebas de extracción por tracción denominadas *pull-off*, además de facilitar información sobre la localización de la superficie de fractura, concretan valores de tensiones de adherencia o de resistencia a tracción de los materiales que son útiles para determinar la causa del daño y decidir el tipo de intervención a adoptar. Los valores de referencia mínimos aceptados para las tensiones de adherencia varían entre 0,3 y 0,5 N/mm², si bien estos valores a veces pueden resultar superiores a las tensiones de tracción soportados por el mortero de agarre o por el material del soporte.

La intervención a realizar dependerá del grado de generalización que pueda atribuirse a la causa de los desprendimientos. En principio, cuando dicha causa se relaciona con las condiciones de ejecución (tiempo abierto de colocación del mortero, humectación del soporte, etc.), puede darse el caso que su extensión se presente solo en zonas acotadas del revestimiento. En este supuesto, una verificación sistemática por percusión del conjunto del revestimiento indica la posibilidad de actuar por parcheo de las zonas desadheridas exclusivamente. En los otros supuestos (mortero inadecuado, descohesión del material del soporte, carencias de suficiente planeidad del soporte en el caso de morteros cola, etc.), muy probablemente será necesario la sustitución total del revestimiento. Esta última actuación es la más aplicada, dada la inseguridad de que se produzca la interrupción de los procesos causantes de los desprendimientos acaecidos con anterioridad a la intervención. Por lo general, la solución elegida suele ser la ejecución de un revestimiento continuo sustituyendo el revestimiento de losetas cerámicas original. Cuando los problemas de desprendimientos son localizados puede disponerse un sistema de recubrimiento incoloro y transparente a base de resinas que incorpore una armadura de fibra de vidrio adherida a la totalidad de la superficie revestida.

Complemento bibliográfico

DÍAZ, C. (2004). "Patología de los recubrimientos cerámicos". *Libro de Actas del VIII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico QUALICER-2004*. Castellón (Tomo 1, pp. M.D.3 - M.D.10).

PORCAR, J. L. (2005). "Desprendimientos de alicatados". *Defectos y disfunciones en alicatados y solados. Diagnóstico y prevención*. Instituto de Promoción Cerámica, Diputación de Alicante (pp. 83-110).

VAZ SERRA, A., PEIXOTO DE FREITAS, V., MENDES DA SILVA, A. (2003). "Patología dos revestimentos cerámicos". *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos* (cap. 4, pp. 197-230).



Anomalia 40

Desprendimiento de los recubrimientos de piedra natural o artificial en las fachadas

La abundante casuística de desprendimientos de los recubrimientos de piedra puede explicarse a partir de los numerosos sistemas de colocación existentes para su fijación y de la disparidad de calidades del propio material de recubrimiento. Por eso, la relación de causas que se hallan en el origen de los comportamientos anómalos que provocan su desprendimiento es mucho más extensa que para otros tipos de recubrimiento.

Antes de referirse a su problemática, es conveniente saber los sistemas más habituales de colocación (fig. 40-1). Cabe distinguir entre los que confían solo en la adherencia de las piezas al mortero de agarre al soporte, los que además del mortero disponen algún tipo de fijación mecánica y los que solo confían en las fijaciones mecánicas. A estas formas de colocación hay que añadir las más evolucionadas que mediante guías verticales u horizontales permiten posicionar con precisión los elementos de fijación mecánica.

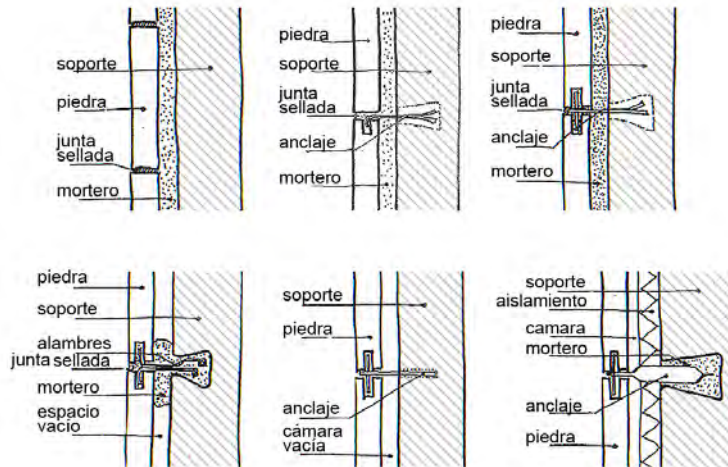


Fig. 40.1. Formas de colocación de los recubrimientos de piedra. De izquierda a derecha: a) por adherencia, con mortero de agarre al soporte, sin fijación mecánica de las piezas; b) y c) con mortero de agarre y fijación mecánica de las piezas; d) con fijación mecánica al soporte y puntos de adherencia a las piezas; e) y f) solo con fijaciones mecánicas, con o sin material de aislamiento térmico interpuesto entre las piezas y el soporte.

La colocación que fía solo a la adherencia es poco frecuente y, en todo caso, casi nunca se aplica por encima del nivel de la planta baja o las dos primeras plantas. Las causas que provocan su caída pueden asimilarse a la de los revestimientos de piezas cerámicas, menos pesados, que generalmente produce el fallo en la insuficiencia o reducción progresiva de la tensión de adherencia en algunas de las superficies de contacto del mortero de agarre. La acumulación de sales e impurezas en las interfases de los materiales, la insuficiente cobertura con mortero de la superficie de las piezas u otros defectos relacionados con la puesta en obra, son las situaciones que se presentan con más asiduidad (fig. 40-2). Anclajes metálicos inadecuados formados con alambre o simples ganchos, casi siempre con síntomas de corrosión, suelen ser la causa más habitual de las roturas y desprendimientos que se producen en plazos más o menos prolongados, que pueden tener su inicio a los pocos años de su puesta en obra (fig. 40-3).



Fig. 40.2. Ejemplos de deficiente colocación del mortero de agarre. En las tres fotos de la izquierda, sin disposición de anclajes.



Fig. 40.3. Ejemplos de anclajes metálicos a base de alambre o ganchos metálicos de escasa rigidez.

Los otros motivos que generan su rotura son la imposibilidad de movimiento entre piezas contiguas o la falta de juntas de movimiento destinadas a reducir las tensiones térmicas que se producen cuando se colocan en contacto. Dicha imposibilidad de movimiento suele ser consecuencia del propio procedimiento de colocación de los anclajes, uno a uno directamente fijado al soporte, lo cual impide acoplar su posición a la que viene obligada por la distancia entre las perforaciones en los cantos de las piezas, generalmente ya ejecutadas en taller. En esta situación, un salto térmico de escasa relevancia es capaz de provocar la rotura de las piezas por sus puntos más frágiles, coincidentes casi siempre con la ubicación de las perforaciones ejecutadas para albergar la punta de los anclajes (fig. 40-4).

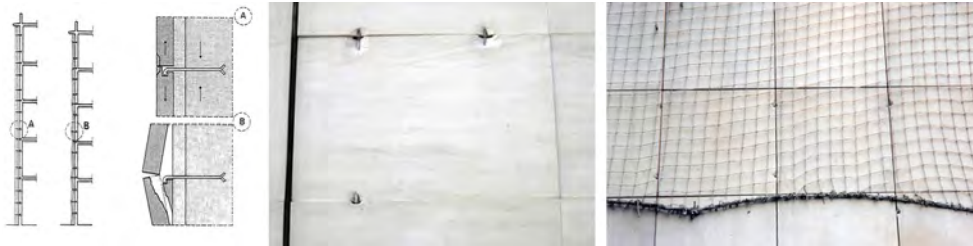


Fig. 40.4. Roturas de los puntos coincidentes con los anclajes en piezas con insuficiente posibilidad de movimiento.

La insuficiencia de puntos de fijación puede ser también causa de desarreglos en forma de movimientos anómalos o desprendimientos, especialmente constatables en las zonas accesibles del recubrimiento, en donde los peatones acrecientan la manifestación de estas carencias junto con otras tales como la fractura de piezas excesivamente delgadas (fig. 40-5).



Fig. 40.5. Movimiento de una pieza con insuficiencia de anclajes y rotura por impacto de una pieza de escaso grosor.

La presencia en el material de vetas ferruginosas que atraviesan las piezas de piedra natural, u otro tipo de alteraciones que produzcan descamaciones, disgregaciones, etc., son posibles situaciones que, en plazos de tiempo de difícil predicción, obligan a emprender acciones más o menos generalizadas de sustitución (fig. 40-6).



Fig. 40.6. En las fotos izquierda y central, fachada recubierta con piezas de piedra con presencia de vetas ferruginosas. En la foto de la derecha, afectación de la parte inferior de las piezas de un recubrimiento de piedra artificial debido a la retención del agua de lluvia infiltrada en esta parte.

Finalmente, cabe añadir la incidencia del escaso grosor de las piezas sobre la presencia de daños en los recubrimientos de piedra natural. Ello es debido a la relación directa entre grosor y resistencia a la tracción de las piezas y, en consecuencia, a

su incidencia sobre la posibilidad de experimentar alabeos y roturas por la mayor parte de las causas apuntadas. En general, se verifica que, para las piedras de las características y tamaños habituales, los grosores de 2 cm o menores son objeto de una abundante problemática (fig. 40-2, fig. 40-3, fig. 40-4, fig. 40-5).

Por último, una problemática singular de algunos recubrimientos de piezas de mármol se ha presentado en ciertos edificios, entre los que se hallan los conocidos Finlandia Hall en Helsinki (fig. 40-7) y el rascacielos Amoco Building de Chicago. Consiste en el alabeo generalizado de las piezas debido a su comportamiento anisótropo frente a los cambios climáticos, problemática que indujo a su sustitución total, ya realizada o anunciada.

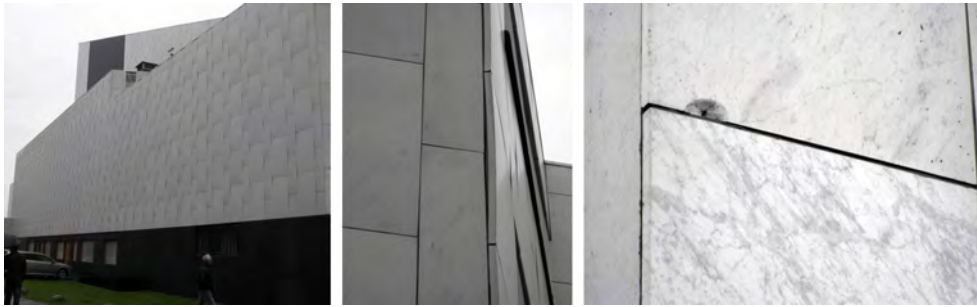


Fig. 40.7. Edificio Finlandia Hall en Helsinki, de Alvar Aalto. Estado del recubrimiento con piezas de mármol de Carrara. Son visibles el alabeo generalizado de las piezas y alguno de sus efectos derivados (2019).

Pautas para la intervención

La decisión de la intervención en recubrimientos de fachada con materiales pétreos depende de la causa inductora de los daños y de su extensión en la fachada, puesto que la primera y más importante decisión será si se opta por una intervención sistemática general en toda la extensión del recubrimiento o bien si es suficiente una intervención parcial, que puede abarcar la zona objeto de la situación anómala localizada (en una planta baja, por ejemplo) o solo la sustitución puntual de las piezas afectadas.

Cuando la sustitución total del recubrimiento no se cree imprescindible pero se descubre la presencia de piezas o zonas en situación de riesgo de desprendimiento, con indicios de progresión y aumento del número de piezas susceptibles de caída, suele adoptarse como solución la refijación sistemática de todas ellas con clavos o tacos que las perforan o atraviesan, y las fijan al soporte. Las formas concretas de realizar esta operación pueden ser muy diversas, de forma más o menos visible (fig. 40-7, fig. 40-8). Resulta importante en estas intervenciones prever holguras entre el diámetro de la perforación y el elemento de fijación, y controlar el grado de apriete de las fijaciones al soporte, todo ello con el fin de no impedir, en lo posible, el movimiento de cada una de las piezas frente a las solicitaciones térmicas. En la fig. 40-8 y en la fig. 40-9 se muestran diversas formas de disposición de los elementos de refijación.



Fig. 40.8. Dos ejemplos de refijaciones visibles.



Fig. 40.9. Forma de fijación a un soporte de ladrillo hueco con taco plástico y tornillo con cabeza ubicada en el avellanado de la perforación, con el fin de que la cabeza del tornillo quede oculta con mortero de la misma tonalidad que la piedra.

Complemento bibliográfico

BRE (1978). "Wall cladding defects and their diagnosis". *Building Research Establishment Digest*, núm. 217. Department of the Environment, Inglaterra.

CORTÉS, J. M. (1985). "Revestimientos de fachada con placas de piedra de pequeño espesor". *Libro de Actas I Congreso de Patología de la Edificación*. Barcelona.

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Fachadas de albañilería. Aplacados de piedra". *Prevención de humedades II. Manuales profesionales X*, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 45-53).

MONJO, J. "Aplacados pétreos (chapados)". Ficha Revestimientos 6, Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

SCHAUPP, W. (1966). "Cause des mouvements relatifs de la dalle et de son support". *Le mur extérieur*. Ed. Eyrolles (pp. 63-88).

Anomalía 41

Desprendimiento de los materiales de recubrimiento en los cantos de los forjados

Aunque esta anomalía podría considerarse que forma parte de las referentes a los revestimientos continuos o a los recubrimientos discontinuos de cerámica o piedra (ver [Anomalía 39](#) y [Anomalía 40](#)), en muchas fachadas tiene aspectos singulares que conviene tener presentes. El primero de ellos es que si el canto del forjado que sirve de soporte al recubrimiento es de hormigón, su adherencia es generalmente menor que la que le confiere el material cerámico, puesto que la porosidad del hormigón es más baja ([fig. 41-1](#)). Esta es una situación que se presenta sea cual sea el recubrimiento, dado que el material que le proporciona adherencia es un mortero, el cual fía en mayor o menor proporción esta cualidad al efecto de anclaje mecánico que le proporciona su penetración en la porosidad del soporte.



Fig. 41.1. Separación entre el mortero de agarre y el canto del forjado. Las losetas cerámicas o los ladrillos recortados se soportan exclusivamente por el pinzamiento que les confieren los ladrillos superiores e inferiores del muro.

Otro de los aspectos específicos a tener presente es la frecuencia de situaciones en que el grosor del revestimiento continuo, o la del mortero de agarre conjuntamente con el material del recubrimiento, es excesivo al estar condicionado por la planeidad de la fachada, que le obliga a mantener su perfecta verticalidad rectificando con su grosor las diferencias en la alineación vertical de los cantos de los forjados entre las distintas plantas provenientes del replanteo ([fig. 41-2](#)). El exceso de grosor aumenta su peso e induce a un aumento de las tensiones rasantes en el plano del canto del forjado que repercuten negativamente sobre la adherencia, en especial en los tramos de forjados de los elementos descollantes (terrazas, galerías o balcones) en que la arista inferior de las piezas de recubrimiento no dispone de



especial en los tramos de forjados de los elementos descolantes (terrazas, galerías o balcones) en que la arista inferior de las piezas de recubrimiento no dispone de apoyo. Además, son precisamente en estas posiciones donde las piezas disponen de menores recursos para la redistribución de las tensiones generadas por la flexión de los forjados y los saltos de temperatura, las cuales se suman a las anteriores. Es por todo ello que son más propicias al desprendimiento las piezas ubicadas en estas posiciones que en el plano general de las fachadas. Por otra parte, son también en estas posiciones donde los efectos del agua sobre las interfaces de contacto entre los materiales suelen manifestarse con mayor frecuencia (fig. 41-2).

A toda esta problemática, hay que añadir la que proviene de la corrosión de las armaduras de los forjados a base de hormigón armado, como consecuencia del efecto de cuña que ejerce el aumento de volumen del acero corroído sobre el hormigón que le rodea. Esta es la causa que se halla en el origen de algunos de los desprendimientos mostrados anteriormente (fig. 41-3).



Fig. 41.2. Ejemplos de grosores excesivos por delante del canto del forjado. La foto de la derecha muestra la corrección con el ladrillo del error de replanteo del canto del forjado en dirección horizontal.



Fig. 41.3. Efectos de la corrosión de las armaduras del hormigón del forjado sobre los recubrimientos. En la foto de la derecha, las fisuras en el mortero de agarre de un tramo de recubrimiento cerámico muestran los efectos de la dilatación térmica que ha experimentado.

Pautas para la intervención

Es recomendable que la reparación de los recubrimientos con riesgo de desprendimiento se efectúe por tramos enteros, dada la dificultad de discernir de forma individual las piezas inseguras o la incerteza de durabilidad de las condiciones de adherencia con suficiente seguridad de las no sustituidas o reparadas. Las formas de intervención pueden ser muy variadas. Se puede elegir entre alguna de las siguientes:

a) *Refijación sistemática de las piezas de los tramos afectados*, siguiendo los procedimientos y precauciones expuestos anteriormente para los recubrimientos de piedra (Anomalía, 40). Puede aplicarse también a las piezas de los recubrimientos cerámicos (fig. 41-4). Es preciso asegurarse con antelación del correcto estado del hormigón armado del canto del forjado.

b) *Sustitución de las piezas y reparación previa del canto del forjado afectado por la corrosión de las armaduras metálicas y/o por la alineación de los cantos*. Es el modo de reparación más frecuente. La reparación admite variables en función del grosor requerido para alinear los cantos, lo cual se ha de hacer acorde con las propiedades del material de aportación y de la necesidad de colocación de armadura adicional (fig. 41-5).

c) *Sustitución de las piezas e incorporación de gancho de fijación mecánica al canto del forjado*. Esta solución resulta especialmente recomendable aplicarla en los tramos coincidentes en vertical con lugares de tránsito de personas para conseguir una mayor seguridad frente a los desprendimientos. El gancho se dispone en el trasdós de las piezas envuelto en mortero de alta adherencia y se posiciona y presiona sobre el canto, con las perforaciones ya realizadas previamente y las losetas con el mortero cola ya colocado en su intradós (fig. 41-6).



Fig. 41.4. Ejemplos de refijación de las piezas cerámicas o de piedra natural mediante clavado directo al canto del forjado, sin extracción previa.



Fig. 41.5. En los tres gráficos superiores, las losetas se recolocan una vez reparadas las armaduras oxidadas del forjado y restituido el hormigón de recubrimiento. En los tres gráficos inferiores, las losetas se recolocan igualmente con el mortero adecuado, con la rectificación previa de la alineación del canto del forjado con hormigón y la colocación de armado suplementario.



Fig. 41.6. Ejemplo de refijación de piezas cerámicas mediante clavado de varillas de acero inoxidable a la primera hilada de ladrillo por encima del forjado.

Complemento bibliográfico

DÍAZ; C. *et al.* (2006). "Patología e intervención en fachadas de ladrillo visto". *Libro de Actas 2º Encuentro Nacional sobre Patología y Rehabilitación de Edificios*. PATORREB-2006, Porto (Vol. 1, pp. 9-18).

DÍAZ, C., CORNADÓ, C. (2021). "Repair of face brick facades sustained in reinforced concrete slabs". *Case Studies in Building Rehabilitation*. Springer Verlag (cap. 4, pp. 89-102).

MONJO, J. "Aplacados pétreos (chapados)". Ficha Revestimientos 6. Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).



Anomalía 42

Grietas en las fachadas debidas al choque térmico

Se conoce con el nombre de choque térmico el efecto que se produce entre dos materiales en contacto cuando uno de ellos se halla expuesto a un fuerte salto de temperatura en un periodo corto de tiempo, de forma que, al enfriarse, el otro material impide su libre movimiento de retracción, originando fuertes tensiones de tracción que generan su fractura. En los edificios, este fenómeno es susceptible que lo experimenten las fachadas con un revestimiento continuo de cemento portland o de cal, después de una fuerte lluvia y de una situación soleada o ventosa que provoca su rápida desecación. En esta situación, se originan tensiones de tracción en la masa del revestimiento al estar impedida su libre retracción por el propio soporte, más estable térmicamente. Algunos recubrimientos de piedra de alta porosidad fuertemente adheridos y fijados al soporte, colocados con juntas a tope, pueden también experimentar el mismo efecto.

Los cuadros fisurativos pueden aparecer en su totalidad de forma instantánea durante el proceso de secado del recubrimiento, al cabo de pocas horas del acontecimiento de la lluvia marcando dibujos azarosos, muchas veces con varias direcciones dominantes (fig. 42-1). Es frecuente la coincidencia entre la fachada o fachadas afectadas con la dirección del viento en el periodo de lluvia o con la dirección de la radiación solar más intensa.



Fig. 42.1. Ejemplos de fachadas afectadas por el efecto del choque térmico.



Pautas para la intervención

El sellado de las fisuras suele ser la actuación más frecuente, si bien no evitará que un futuro acontecimiento climático de similar intensidad al causante del daño afecte de nuevo al recubrimiento. La refección completa de la superficie afectada es la actuación alternativa, la cual deberá definirse en base a reducir la intensidad de la diferencia térmica factible entre el soporte y el nuevo recubrimiento.

Complemento bibliográfico

LOGEAIS, L. (1988). "Les enduits d'imperméabilisation sans vocation isolante". *L'étanchéité des façades 1. Exigences et moyens, Qualité Construction*. Ed. E.G. (cap. VII, pp. 41-54).

Anomalía 43

Desprendimientos en barandillas, aleros y otros elementos de fachada

En las fachadas existen muchos elementos que, sin cumplir propiamente una función estructural o formar parte de la obra gruesa del edificio, son objeto de anomalías que, más allá de reducir o anular el valor visual estético de la fachada, generan situaciones de riesgo para las personas. Las barandillas, los remates superiores y los elementos ornamentales que sobresalen del plano de la fachada, tales como cornisas, molduras, etc., son los que acumulan un mayor número de siniestros. Las situaciones de inestabilidad o desprendimiento de elementos o partes de fachada se ven agravadas por la falta de mantenimiento y la exposición a la humedad, al viento y a los cambios de temperatura.

Entre los materiales más proclives a sufrir esta problemática hallamos la piedra artificial con la que se forman muchos de los balaustres o remates superiores de las barandillas y que, a menudo, presentan corrosión en las armaduras interiores debido a la alta porosidad del material que las envuelve (fig. 43-1). La problemática de corrosión afecta también a algunas barandillas de hormigón armado visto, de difícil acceso para su mantenimiento (fig. 43-2), situaciones que se suman a las ya tratadas anteriormente al referirnos a las alteraciones de la piedra en las losas de los balcones (Anomalía 27), a las del hormigón armado en los cantos de los forjados (Anomalía 41) o a la de los elementos estructurales de dicho material al exterior (Anomalía 9).

Los aleros de los edificios de construcción tradicional, conformados muchos de ellos con piezas cerámicas que sobresalen parcialmente en voladizo del plano de la fachada, son igualmente elementos en una situación especialmente expuesta a la alteración de los morteros que contienen y a los embates del viento, manifestándose como uno de los puntos débiles más comunes de las formas de construir las fachadas tradicionales (fig. 43-3).



Fig. 43.1. Ejemplos de alteración y desprendimiento de piedra artificial afectada por la corrosión de la armadura metálica.



Fig. 43.2. Ejemplos de corrosión de las armaduras en barandillas formadas con paneles de hormigón armado.

Evidentemente, la relación de elementos afectados y desperfectos podría ser mucho más extensa. Sin embargo, es suficiente para justificar la importancia de la revisión de todos los elementos considerados secundarios o complementarios presentes en las fachadas, ya sea cuando el objetivo de la intervención es la inspección del edificio o cuando se realiza la fase de recogida de información de los desperfectos en un proceso de diagnóstico, rehabilitación o mejora de la fachada del edificio o de su totalidad.



Fig. 43.3. Ejemplos de desprendimiento de materiales de los aleros en edificios de construcción tradicional.

Pautas para la intervención

Las formas concretas de intervención dependerán en cada caso de los materiales afectados y de las causas que inciden en su comportamiento anómalo. Muchas de estas formas son tratadas en las anomalías anteriormente citadas al referirse a la piedra o al hormigón armado, mientras que otras son actuaciones de restitución o reparación de albañilería sin mayor especificidad. Se debe tener en cuenta el valor patrimonial, ornamental o estrictamente funcional del elemento afectado para elegir entre una intervención restauradora o una actuación en que se considere solamente su funcionalidad. En todo caso, las intervenciones restauradoras puede ser que requieran de mano de obra con conocimientos específicos de las técnicas



artesanales, o del uso de morteros u otros materiales no tradicionales de pres-taciones también específicas tales como morteros de recuperación de volumen, morteros consolidantes, morteros deshumidificantes, mallas de refuerzo de fibra de vidrio o de carbono, etc.

Complemento bibliográfico

ASHURTS, J. (1988). *Practical building conservation*. Gower Tech Press (Tomos 1, 2, 3, 4).

BROTO, C. (2006). "Aleros y cornisas". *Patologías de la construcción*. Enciclopedia Broto. Ed. Links, Barcelona (Tomo 5, pp.257-273).

IGLESIAS, F. (2006). "Restauració de façanes històriques". *Papers Sert 17*. Col·legi d'Arqui-tectes de Catalunya (COAC), Barcelona.

MONJO, J. (1999). "Oxidación y corrosión de elementos metálicos de fachada" y "Aleros y cornisas". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubier-tas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. II, ap. 8, pp. 237-254; cap. IV, ap. 2, pp. 341-360).



Anomalía 44

Humedades de condensación en muros y techos de los recintos habitados

La problemática de las humedades de condensación se relaciona, generalmente, de una forma genérica con la presencia de moho alimentado por el agua presente en los paramentos interiores de los cerramientos exteriores de las estancias o en la masa del material del revestimiento interior que las recubre. Dicho moho, que proviene de las esporas presentes en el aire y que para su subsistencia y proliferación requiere de un hábitat húmedo, puede llegar a afectar de forma más o menos acentuada las condiciones de salubridad de los recintos.

Es sabido que cada ambiente puede contener, a una temperatura dada, hasta una cantidad límite de vapor de agua, y que cuando se supera dicho límite el vapor de agua presente empieza a condensar. En condiciones invernales, las superficies de los paramentos de los cerramientos exteriores se hallan más frías que el aire ambiente, lo cual provoca que el vapor condense prioritariamente en ellas. Además, se da la circunstancia que, en el interior de los poros capilares de los materiales, el vapor de agua empieza a condensar antes de que en el ambiente de la estancia se alcancen las condiciones de su saturación. Así, cuando se llega al 70 - 75 % de humedad relativa se inicia la presencia de agua líquida en dichos poros, fenómeno que recibe el nombre de adsorción capilar.

De lo anterior se deduce que la presencia de la problemática de las humedades de condensación en las estancias de los edificios depende de su humedad relativa y temperatura, de las características constructivas de sus cerramientos exteriores y de las condiciones de uso de sus habitantes. Muchos de estos factores están relacionados, y es preciso discernir en cada caso su incidencia real. Una relación de las situaciones reales que se pueden presentar es la siguiente:

- a) Alta ocupación de habitantes en recintos pequeños.
- b) Uso de sistemas de calefacción de alta producción de vapor de agua en su combustión.
- c) Escasa ventilación de las dependencias; presencia de ciertas zonas de difícil renovación de aire (detrás de los muebles o cortinas, rincones, etc.) (fig. 44-1).
- d) Presencia de cerramientos exteriores, muros o cubiertas, con aislamiento térmico insuficiente (fig. 44-2).

- e) Presencia de puentes térmicos con baja temperatura superficial, sustancialmente inferior a la de las zonas anexas (fig. 44-2).
- f) Zonas opacas de los cerramientos verticales exteriores en orientación norte, con insuficiente aislamiento térmico, sin aportes de calor de radiación (fig. 44-2).



Fig. 44.1. Ejemplos de formación de moho en localizaciones con escasa ventilación, en rincones de los paramentos y detrás de los muebles adosados.

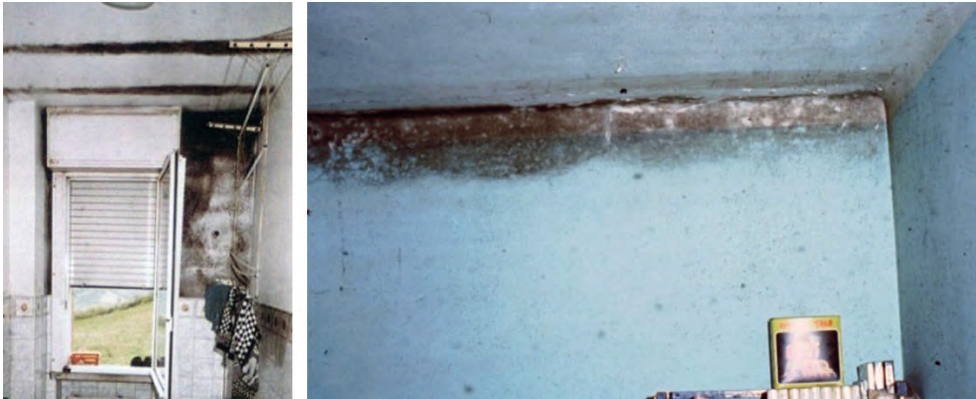


Fig. 44.2. Ejemplos de manchas originadas por la presencia de moho. En la foto izquierda, marcando las viguetas de la cubierta plana y el muro exterior escasamente aislado. En la foto de la derecha, marcando la zona anexa al coincidente con el puente térmico del encuentro muro-exterior-forjado.

La distinción visual del daño se presenta en forma de manchas oscuras negruzcas, verdosas o marrinosas, cuya localización atiende a las situaciones anteriormente relacionadas y que se corresponden con la presencia de moho (fig. 44-1, fig. 44-2).

Cabe la posibilidad, en fases avanzadas de la proliferación del moho, que su presencia se extienda sobre paramentos que no sean necesariamente de los cerramientos exteriores más fríos. Ello se produce especialmente cuando el revestimiento de yeso del acabado contiene materia orgánica adicionada durante su puesta en obra como acelerador de fraguado.



La problemática de las humedades de condensación se suele asociar a la formación del moho visible en los paramentos interiores de los cerramientos. Sin embargo, y atendiendo a la frecuencia de su presencia en las viviendas, es importante tener presente que, en algunos tipos de cerramientos, el vapor de agua ambiente puede difundirse a través de su sección condensando en su interior. En dichos casos, se reduciría la capacidad de aislamiento térmico del cerramiento, lo cual indirectamente y en condiciones invernales, puede repercutir en el enfriamiento de su paramento interior y en el aumento de la propensión a la formación de moho. La verificación de esta posibilidad requiere del conocimiento de las características térmicas y de difusión del vapor de los materiales que forman el cerramiento, su grosor y disposición relativa, y el régimen de las temperaturas ambiente e interior.

Pautas para la intervención

Con la eliminación previa del moho existente con un fungicida adecuado, el objetivo que se plantean las intervenciones para evitar la presencia futura de moho se puede conseguir a través de dos vías diferentes, una vez diagnosticada la causa o las causas inductoras de su formación: asegurar unas condiciones de humedad relativa ambiente inferior al 70 - 75 % o bien mejorar las condiciones de aislamiento térmico de los cerramientos exteriores existentes.

Las formas de incidir sobre la humedad relativa interior pueden ser muy diversas. Las más inmediatas, pero no siempre efectivas, son las que recurren a la rectificación de las condiciones de uso de los alojamientos, tales como aumentar el régimen de ventilación natural de las estancias o sustituir el sistema de calefacción de GLP por otro menos productor de vapor de agua. De todas formas, las más eficientes consisten en la incorporación de sistemas de ventilación forzada o híbridos que aseguren un determinado régimen horario de renovación del aire mediante una instalación que incluya aberturas de entradas exteriores de aire, aberturas de paso y extracción y conductos de extracción (fig. 44-3).

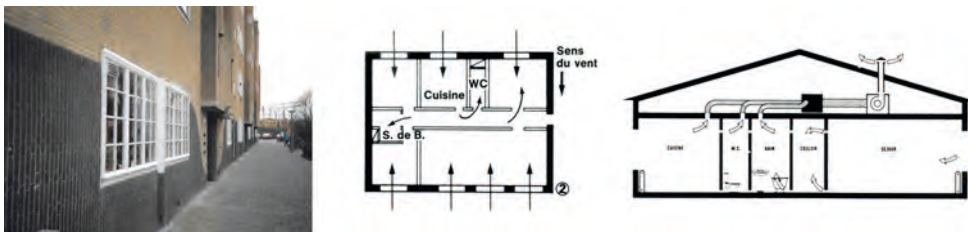


Fig. 44.3. En la foto, ventanas con rejillas de entrada de aire exterior. En los gráficos del centro y la derecha, circulación del aire exterior desde las ventanas hasta los conductos verticales de extracción que comunican con el ventilador ubicado en la cubierta del edificio.

Los sistemas de mejora de las condiciones de aislamiento térmico de los cerramientos exteriores coinciden prácticamente con los utilizados para la reducción de la demanda energética de las zonas opacas de los edificios, aunque su objetivo es distinto y, en consecuencia, los requerimientos de incremento de aislamiento térmico también lo son, al ser generalmente más elevada la exigencia de cantidad aislamiento térmico en las actuaciones de reducción de la demanda energética de los edificios.



En las fachadas y cerramientos verticales exteriores, en función de su situación relativa en la sección del elemento, cabe distinguir tres modalidades de aplicación: los sistemas de refuerzo de aislamiento térmico dispuestos por el interior del cerramiento, aquellos en que dicho aislamiento se dispone dentro de la cámara de aire y, finalmente, aquellos en que se dispone por el exterior del cerramiento, que son los más habituales.

De entre estas tres modalidades, comentadas con mayor extensión al exponer las pautas de intervención de la [Anomalía 60](#) y la [Anomalía 61](#) referentes a la reducción de la demanda energética de los edificios, los sistemas de refuerzo por el exterior de los cerramientos exteriores son los que gozan de mayores ventajas cuando la finalidad de la intervención es reducir la problemática generada por las humedades de condensación invernales, puesto que son los únicos que eliminan los puentes térmicos y rentabilizan al máximo la inercia térmica del cerramiento existente, además de las ventajas que se exponen en las anomalías anteriormente citadas.

Por lo que se refiere a las cubiertas planas (elementos en los que más abundan los problemas derivados de la condensación de vapor de agua), son válidos los mismos argumentos expresados para los cerramientos verticales. Así pues, en cubiertas planas, la ubicación preferente del refuerzo de aislamiento será por el exterior o, en todo caso, por encima del forjado plano si en la intervención se prevé un cambio en el tipo de cubierta que independice el elemento resistente del material de cobertura (ver [Anomalía 52](#) y [Anomalía 61](#)). Es una situación equivalente al de las cubiertas con cámara de aire, si bien en estos casos, como también en las cubiertas inclinadas tradicionales, la intervención de refuerzo de aislamiento término requiere, la mayoría de las veces, de la sustitución prácticamente total de todos los elementos de cubierta situados por encima de los elementos estructurales (ver [Anomalía 53](#) y [Anomalía 60](#)).

Complemento bibliográfico

ADIGSA (1991). *Manual d'aplicació de revestiments prims per l'exterior*. Generalitat de Catalunya.

BAGLIONI, A., GUARNERIO, G. (1988). "Ventilación de las viviendas". *La rehabilitación de edificios urbanos*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona (cap. 10, pp. 188-190).

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Protección frente a la humedad de condensación en los edificios". *Prevención de humedades II*. Manuales profesionales X, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 01-134).

MATANA, M. (1995). "Condensation et ventilation". *Humidité*. Editions Alternatives (cap. 5, pp. 79-110).

ORTEGA, F. (1988). "La humedad de condensación". *Humedades en la edificación*. EDITAN, Sevilla (cap. III, pp. 41-91).



Anomalía 45

Filtraciones del agua de riego de las jardineras de obra cerámica incorporadas en las fachadas

Las humedades por filtración de agua procedente del riego de las plantas son frecuentes en jardineras de obra vista que se hallan incorporadas en fachada. Hay que tener presente que en estos elementos el requerimiento de estanqueidad del vaso que contiene las tierras es más elevado que en una cubierta plana, dado que debe soportar la presión hidrostática adicional generada en sus paredes laterales cuando el agua de riego satura la tierra que contiene. Esta mayor exigencia en las condiciones de estanqueidad ha de ir acompañada, además, de la necesidad de protección mecánica frente al punzonamiento generado por las raíces de las plantas y de la previsión de mantener el desagüe libre de embozamiento por las tierras o raíces contenidas en el interior de la jardinera. Por otra parte, los muretes del vaso han de ser capaces de resistir sin fisurarse la presión hidrostática ya mencionada y el empuje de las tierras contenidas en su interior. Este conjunto de exigencias explica la dificultad práctica de conseguir soluciones duraderas sin la manifestación de algún daño en el mismo vaso de la jardinera o en su entorno.



Fig. 45.1. Ejemplos de daños originados por las filtraciones de agua del riego de las jardineras: manchas y pérdidas de material en los muretes cerámicos de media asta que conforman los vasos. En la foto de la derecha, oxidación de la armadura del forjado que soporta la jardinera.

Los daños que suelen visualizarse son diversos: en forma de manchas blanquecinas debidas a las eflorescencias de las sales contenidas en el agua de riego; en forma de alteración del material cerámico del vaso; por síntomas de corrosión de



las armaduras del forjado de hormigón que sirve de soporte a los muretes de obra; en forma de fisuras debidas al empuje de las tierras (fig. 45-1). La caída de piezas cerámicas del recubrimiento de los cantos de los forjados se presenta con mucha mayor frecuencia que en otras situaciones, al coincidir en esta ubicación el debilitamiento de la adherencia de las piezas en las interfaces de contacto debido a los efectos del agua de riego y los efectos del acuñamiento del hormigón generado por la expansividad de las armaduras oxidadas, que se da en mayor grado de lo que es habitual, por la presencia de esta misma agua.

Pautas de intervención

La solución aplicable a los problemas de filtraciones en este tipo de jardineras requiere necesariamente de la sustitución de los materiales deteriorados y de la reconstrucción completa de su sistema de estanqueidad, es decir, del material estanco, de su protección mecánica si la requiere, del desagüe y, en algunos casos, de las pendientes de la base del vaso. Resultan especialmente adecuados los materiales de estanqueidad continuos, aplicados *in situ*, que no requieran la formación de solapes y aristas, dada la dificultad en las condiciones de trabajo a que se hallan expuestos (fig. 45-2). Para los elementos de obra cerámica y hormigón afectados se seguirán las pautas expuestas en la [Anomalía 9](#), la [Anomalía 29](#) y la [Anomalía 46](#).



Fig. 45.2. Detalle y fotografía de la reconstrucción de una jardinera con nueva estanqueidad a base de pintura de resina de poliéster aplicada *in situ*, remate de piezas cerámicas en L y desagüe con tubo de acero inoxidable.

Complemento bibliográfico

BLOUD, F. (1978). "Étanchéité des terrasses jardins". *Le Bâtiment-Bâtir* (marzo).

DÍAZ; C. (2006). "Patología e intervención en fachadas de ladrillo visto". *Libro de Actas 2º Encuentro Nacional sobre Patología y Rehabilitación de Edificios*. PATORREB-2006, Porto (Vol. 1, pp. 9-18).



Anomalía 46

Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de ladrillo visto

Una de las soluciones de fachada ha sido en los últimos decenios, y aún sigue siendo, la que está formada por una hoja exterior de ladrillo visto de 12 o 14 cm, una cámara de aire con o sin material de aislamiento térmico incorporado y un tabique interior, normalmente de ladrillo hueco de 4 cm de grosor. Además de las filtraciones por las juntas de la hoja exterior con la carpintería, que se comenta en la [Anomalía 48](#), cuando los ladrillos son perforados de fabricación mecánica, los problemas de penetración de agua suelen presentarse en las juntas de mortero, más concretamente, en los contactos de las juntas con los ladrillos. Si los ladrillos son de fabricación manual, mucho más porosos que los anteriores, el agua puede también saturarlos, lo cual se presenta con mayor frecuencia si los ladrillos son silíceo-calcáreos. Por supuesto, a estas causas más específicas de las fachadas de ladrillo visto, cabe añadir las que provienen de causas más generales, tales como las fisuras debidas a movimientos estructurales o termohigrométricos, transformados en localizaciones concretas de penetración de la lluvia.

A menudo, la penetración de agua por las juntas de mortero de la fábrica viene propiciada por aspectos relacionados con la ejecución del muro ([fig. 46-1](#)). Uno de ellos es la colocación de los ladrillos sobre lechos de mortero de las juntas horizontales ya demasiado secos, lo que evita su conveniente adherencia. Otro de los problemas de adherencia se produce en las juntas verticales, en los puntos de contacto entre el mortero que asciende por ellas, al colocarse las piezas cerámicas mediante restregón, y el mortero que desciende por las mismas juntas verticales desde la junta horizontal inmediatamente superior al restregar las piezas de dicha hilada, cuando el mortero colocado inicialmente se halla parcialmente desecado. Por otra parte, el acabado exterior de las juntas horizontales no debe dejar superficies horizontales que posibiliten el estancamiento del agua. Morteros demasiado pobres en cemento y, en consecuencia, demasiado permeables pueden también dar lugar a filtraciones.

En las fachadas con cámara de aire descritas inicialmente, a menudo el fondo de la cámara acumula restos de material que absorbe la humedad de la hoja exterior y la conecta con el tabique interior, habitualmente de yeso, lo cual produce manchas y desperfectos visibles en el material del revestimiento.



Fig. 46.1. Ejemplos de ejecución defectuosa: juntas verticales sin correcto contacto con las horizontales y presencia de juntas insuficientemente colmatadas

Pautas para la intervención

Para elegir la intervención correcta es preciso averiguar primeramente si las filtraciones de agua provienen de defectos de ejecución o de dosificación de las juntas o son debidas a la absorción excesiva de la cerámica. Si provienen del primer supuesto, es decir, de defectos relacionados con las juntas, la intervención consistirá en proceder a una actuación de rejuntado, repicando hasta una profundidad de 1 - 2 cm el mortero existente y sustituyéndolo por un mortero de reparación de las características de adherencia y estanqueidad adecuadas. Si las filtraciones provienen del segundo supuesto, es decir, de un exceso de absorción de la cerámica, se procede habitualmente a aplicar un revestimiento en todo el paramento afectado, existiendo diversas opciones en función de la exigencia de conservación visual de la fábrica a reparar. Así, si se opta por conservar el color y el brillo de la fachada original puede aplicarse una impregnación hidrófuga a base de siliconas. Esta impregnación no reduce la permeabilidad al vapor de los materiales, al recubrir los poros solo superficialmente sin llegar a obturarlos, dado que su mecanismo de estanqueidad consiste en variar el ángulo de contacto de la gota de agua con el material, aumentándolo hasta el punto de que tiende a adoptar forma esférica en lugar de tender a penetrar en su masa (fig. 46-2). Esta solución requerirá la reparación y sellado previo de las grietas y fisuras existentes en la fachada, de anchura superior a la especificada por el producto utilizado.

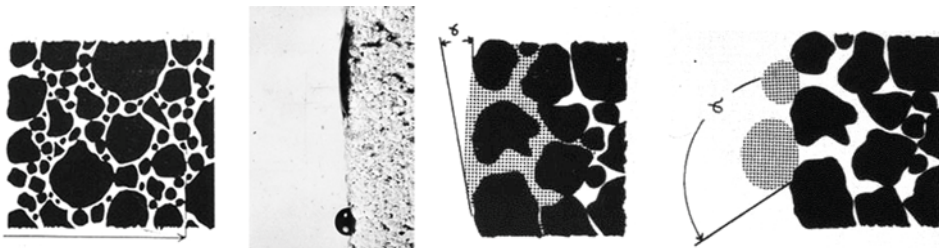


Fig. 46.2. Esquemas del funcionamiento de un revestimiento hidrófugo a base de silicona. En el gráfico de la izquierda, se representa el recubrimiento solo superficial del compuesto, sin tapar los poros, y su profundidad de penetración en relación con los otros tipos de revestimiento. La fotografía del segundo gráfico muestra la forma circular compacta que adoptan las gotas de agua una vez el material está revestido, en contraste con la forma que adoptan antes de ser revestido. Los dos gráficos de la derecha representan el cambio en el ángulo de contacto conseguido con la aplicación de la silicona.



En cambio, los revestimientos a base de resinas epoxídicas o de prestaciones equivalentes impiden el paso del agua formando película de estanqueidad superficial. Son más resistentes a los ambientes polucionados y de mayor durabilidad que los anteriores, tienen una menor permeabilidad al vapor y varían el brillo de la fachada. Finalmente, los revestimientos a base de resinas sintéticas sin cargas pueden mantener el color variando el brillo, como los de resinas epoxi. En el caso de que a estos últimos se les añadan cargas a base de arena de sílice o material similar, la fachada transforma completamente su apariencia inicial. Estos últimos son, de hecho, los más aplicados en las fachadas revestidas convencionales (fig. 46-3).

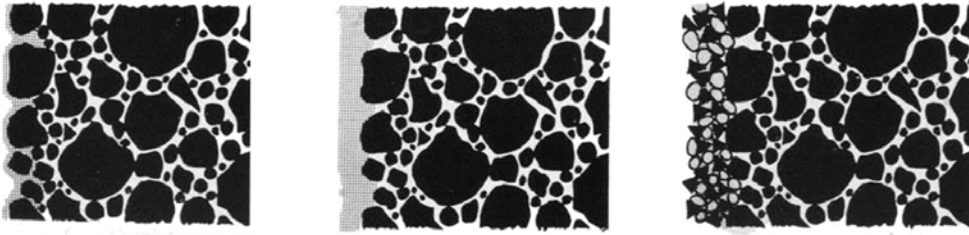


Fig. 46.3. El gráfico de la izquierda muestra la formación de la película estanca y la capacidad de penetración de un revestimiento epoxídico; el del centro representa un revestimiento a base de resinas sintéticas sin adición de cargas, y el de la derecha, uno con cargas, ambos de mayor grosor y con menor penetración que el anterior.

Complemento bibliográfico

CARBONELL DE MASY, M. (1999). "Técnicas y ejemplos de hidrofugación en superficie". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas* (cap. 5, pp. 77-85).

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Fachadas de albañilería. Ladrillo cerámico". *En Prevención de humedades II. Manuales profesionales X*, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 55-72).

NEWMAN, A. J. (1988). *Rain penetration through masonry walls: diagnosis and remedial measures*. Monografía del Building Research Establishment (BRE). Department of the Environment, Garston, Watford.

GRUNAU, E. B. (1970). "Moyens de modifier le bilan hydrologique du mur". *La Lutte contre l'humidité dans les façades*. Ed. Eyrolles (pp. 30-122).



Anomalía 47

Filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de hormigón visto

La permeabilidad del hormigón depende fundamentalmente de su densidad, compacidad y contenido de cemento. En general, el hormigón armado con características resistentes de aplicación en las estructuras de la edificación es menos poroso y más impermeable que el material cerámico usado en las fachadas de obra vista. Como se ha comentado al referirse a los muros de contención de hormigón armado, las filtraciones provienen generalmente, aunque no siempre, de las fisuras existentes en el material, independientemente de su origen o causa.

Pautas para la intervención

La forma de reparación más habitual de las fisuras será mediante inyección de productos, generalmente de base epoxídica o de acción estanca y adherente similar. Cabe decir que, en el caso de fachadas de hormigón visto, es difícil obtener resultados que eviten completamente esconder su trazado. En cambio, si las filtraciones son debidas a un exceso de absorción de agua de la masa del hormigón, son de aplicación impregnaciones hidrófugas a base de siliconas o siloxanos, incoloras y que mantienen el brillo del material, pasando completamente inadvertidos, siendo además permeables al vapor de agua (fig. 47-1). En todo caso, hay que tener presente el plazo relativamente corto de garantía del producto y su incompatibilidad con los recubrimientos anticarbonatación que, de hecho, conllevan la variación del color original, aunque sea leve.

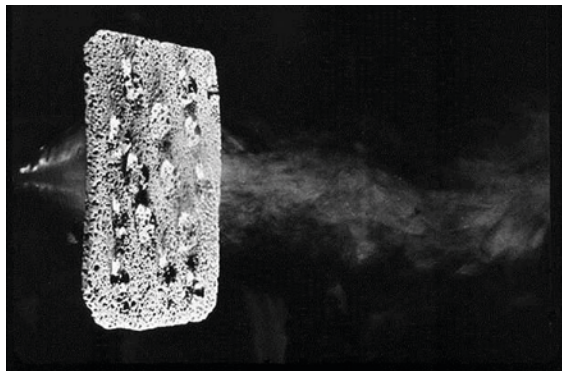


Fig. 47.1. Visualización de las propiedades hidrófugas manteniendo la permeabilidad al vapor de una placa de hormigón poroso revestido con silicona.



En general, los criterios generales de intervención para las fachadas de hormigón visto son análogos a los expuestos para las filtraciones de agua de lluvia en las fachadas de ladrillo visto ([Anomalía 46](#)), con la única diferencia que, en este caso, al no existir juntas entre piezas, no se presenta esta problemática específica. En consecuencia, los criterios de elección de la solución se fundamentarán en la necesidad de sellado específico y colmatación de las grietas que presente, según sea su anchura y en la exigencia de mantenimiento de las cualidades visuales superficiales del hormigón. En relación con la necesidad de reparación de las grietas, cabe tener presente, además de su función de recuperación de la estanqueidad, que las actuales normas e instrucciones del hormigón armado fijan anchuras máximas admisibles con el fin de proteger a las armaduras de acero frente a la corrosión. Por lo que se refiere a los productos hidrófugos que se aplican en los revestimientos superficiales, se suele especificar las anchuras de grieta máximas que son capaces de *puentear* manteniendo la continuidad del producto sin romperse.

Complemento bibliográfico

CARBONELL DE MASY, M. (1999). "Técnicas y ejemplos de hidrofugación en superficie". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas* (cap. 5, pp. 77-85).

GRUNAU, E. B. (1970). "Traitement dessurfaces en béton". La *Lutte contre l'humidité dans les façades*. Ed. Eyrolles (pp. 152-162).

Anomalía 48

Filtraciones de agua de lluvia por las juntas entre materiales, vierteaguas y encuentros de las carpinterías con la obra

En los cerramientos exteriores de los edificios, los lugares más habituales de penetración de agua de lluvia son, sin lugar a duda, las juntas y encuentros que se asocian a cambios de materiales o cambios de plano. Entre ellos se encuentran las juntas con los elementos salientes de fachada, tales como cornisas y aleros, los encuentros entre las losas de los balcones y sus barandillas, y los de los elementos estructurales con el material del cerramiento de la fachada (fig. 48-1).



Fig. 48.1. En la foto de la izquierda, la acumulación de agua sobre la moldura de piedra origina la humectación del revoco de la fachada. En la foto central, filtración a través de la barandilla en su contacto con la losa del balcón. En el gráfico de la derecha, el desconchado del revoco se forma justo encima de la junta entre un pilar y la cerámica del cerramiento de obra.

Especial mención requiere la problemática que se genera en los encuentros entre las carpinterías de los huecos y las partes opacas de obra del resto del muro. Son muy habituales las filtraciones por los vierteaguas de las ventanas formados de piezas cerámicas, piedra o de capa metálica. Se producen concretamente por las juntas, ya sea por las juntas de entrega con la obra o por las juntas intermedias entre los ladrillos o piezas de piedra o entre las piezas de chapa (fig. 48-2, fig. 48-3).

A menudo, las filtraciones son consecuencia de la carencia de una lámina o protección estanca por la parte inferior de la ventana. Esta debe hallarse colocada correctamente levantada por los extremos y siguiendo la pendiente hacia el exterior, en previsión de las infiltraciones por las juntas horizontales, más expuestas que las verticales. Piedras demasiado porosas, especialmente las artificiales, permiten con más facilidad la penetración del agua de lluvia. Las carencias de goterones apropiados pueden ser la causa de daños en la zona por debajo del hueco (fig. 48-3, foto izquierda).

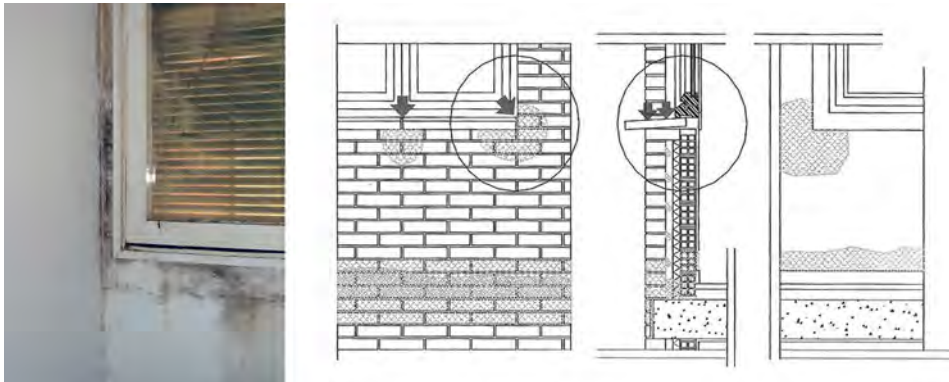


Fig. 48.2. La zona del vierteaguas suele ser un lugar habitual de filtraciones de agua. En la foto se pueden observar también síntomas de humedad en la junta entre carpintería y obra en una de las jambas de la ventana.

En las jambas de puertas y ventanas se fía generalmente la estanqueidad del encuentro con la obra a la junta elástica que se dispone en su contacto con la carpintería y, en algunos casos, a los galces de la propia carpintería o a la geometría que forma el pre-marco. Cuando la solución original es por sellado elástico, su progresiva pérdida de calidad estanca es causa frecuente de filtraciones (fig. 48-3, foto derecha).



Fig. 48.3. En la foto de la izquierda, daños en el revoco propiciados por el estado del vierteaguas. En la foto central, vierteaguas de chapa con junta intermedia, lugar frecuente de las infiltraciones de agua de lluvia. En el gráfico de la derecha, recorrido del agua infiltrada por la junta entre carpintería metálica y obra de ladrillo.

Pautas para la intervención

Si la problemática proviene exclusivamente del final de la vida útil de servicio del material de sellado, visible a veces por el aspecto duro y frágil que presenta, se debe proceder al resellado de las juntas con un producto adecuado. En este caso, será recomendable estudiar una solución de detalle que mejore las condiciones de colocación iniciales, lo cual no siempre es posible sin recolocar o sustituir las carpinterías. Si la problemática tiene su origen en la resolución constructiva del vierteaguas, es recomendable proceder a su extracción o al rediseño de las juntas



y a la disposición de producto estanco por debajo del nuevo vierteaguas, a poder ser sin juntas intermedias. La provisión de una pintura de estanqueidad sobre el vierteaguas existente puede solucionar temporalmente el problema.

Complemento bibliográfico

CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). "Puntos conflictivos". *Prevención de humedades II*. Manuales profesionales X, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (pp. 19-29).

ENDEAN, K. E. (1995). *Investigating rainwater penetration of modern buildings*. Gower Pb., England, USA.

JALVO, J. *et al.* (1999). *Puntos críticos en la estanqueidad al agua de fachadas y cubiertas*. Monografías INTEMAC núm. 2, INTEMAC, Madrid (ap. 2.3, pp. 23-38).



Anomalía 49

Formación de eflorescencias y criptoflorescencias en las fachadas de ladrillo visto

Reciben el nombre de *eflorescencias* las excrecencias pulverulentas blanquecinas o amarillentas formadas por las sales solubles presentes en el interior de los muros, que son arrastradas por el agua hacia el exterior de los mismos en donde recristalizan y se solidifican, y son visibles en forma de manchas en sus fachadas. En cambio, cuando la recristalización de la sal se produce en el interior de la sección del muro, el efecto expansivo de sus moléculas en el proceso de recristalización puede llegar a acuñar la cerámica y reducir la sección útil del muro. En este caso, las sales allí formadas reciben el nombre de *criptoflorescencias* (fig. 49-1, foto central). Estas sales (sulfatos, carbonatos, nitritos, nitratos, cloruros) suelen proceder de los propios ladrillos, del mortero de las juntas o se hallan contenidas en el terreno. El agua que las disuelve puede provenir de la lluvia o también del terreno, siendo, en este último caso, trasladadas a través del muro por los poros capilares de los ladrillos y del mortero. Si la sal formada es higroscópica (que atrae la humedad), el fenómeno se retroalimenta aumentando el grado de afectación. Las atmósferas contaminadas con presencia de dióxido de carbono o las zonas costeras facilitan, también, la formación de este tipo de sales especialmente visibles y frecuentes en los muros de ladrillo. En función del tipo y del origen de la sal, sus efectos pueden manifestarse durante periodos de tiempo muy variables, desde solo algunos meses o algunos años con posterioridad a su construcción hasta periodos mucho más prolongados, que pueden llegar a ser prácticamente indefinidos, en especial cuando su origen proviene de las sales contenidas en el terreno.



Fig. 49.1. En la foto de la izquierda, muro de ladrillo con eflorescencias salinas. En la foto del centro, un ejemplo de fuerte afectación por la formación de criptoflorescencias en el material cerámico. En la foto de la derecha, un momento de la sustitución de piezas de ladrillo, solo en el grosor de la parte alterada.



Pautas para la intervención

Las formaciones de criptoeflorescencias son procesos que requieren de una gran intensidad para que induzcan a intervenciones de refuerzo del muro, puesto que al ser precisa la evaporación del agua para su formación, generalmente solo le afecta hasta algunos centímetros de profundidad. En todo caso, el tratamiento adecuado para frenar el proceso de formación, tanto para las eflorescencias como para las criptoeflorescencias, requerirá de la identificación de la sal mediante un análisis químico, así como del conocimiento de la procedencia tanto de la sal como del agua que la disolvió. Una vez conocidos estos extremos, será necesaria la limpieza de las zonas afectadas, acompañada de una reposición del material en las partes más alteradas. La forma de intervención más usual consiste en la sustitución parcial de las partes afectadas de los ladrillos por nuevas piezas de las mismas características (fig. 49-1, foto derecha).

Complemento bibliográfico

BROTO, C. (2005). "Acción de la cristalización-hidratación de sales solubles". *Patologías de la construcción*. Enciclopedia Broto, rd. Links (Tomo 2, pp. 128-131).

LASHERAS, F. (1991). "Humedades y eflorescencias en obras de fábrica". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 1, cap. 12, pp. 309-337).

MONJO, J. (2000). "Eflorescencias". *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Ed. Munilla-Lería (C. VI, pp. 277-299).

OLMOS, C. (1991). "Patología de la piedra y el ladrillo". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo I, cap. 8, pp. 201-210).



Anomalia 50

Erosión de los muros de piedra por los efectos de los agentes ambientales

La pérdida superficial de material en los materiales pétreos que forman los muros puede provenir de múltiples causas y adoptar múltiples formas de manifestación en función del origen del daño y de las características de la piedra utilizada. La forma más común y general de erosión es la conocida con el nombre de abrasión, generada por la acción mecánica de agentes externos, tales como el viento cargado de partículas o la lluvia. A veces, la pérdida de material se produce por la disolución del material inducida por procesos químicos, y a veces por la disgregación de los granos y partículas que componen el material. En todo caso, el agua suele estar presente en la mayor parte de los procesos de erosión, ya sea en forma líquida o en forma de hielo. En el primer caso, facilitando la disolución y las reacciones químicas, y en el segundo, fracturando el material por las tensiones originadas en el cambio de estado a sólido. Los efectos de desgaste expuestos suelen ser de muy lenta manifestación y afectan a un porcentaje escaso de la sección de los muros (fig. 50-1). Por otra parte, al ser su manifestación visible, permite una fácil observación del daño, facilitando con ello la oportuna toma de decisiones.



Fig. 50.1. En la foto de la izquierda, erosión de un muro de piedra eruptiva (tufo) afectada por el agua de lluvia. En la foto de la derecha, muro con erosión en su base, más avanzada en los mampuestos que en las juntas de mortero, las cuales muestran eflorescencias.

Además de los procesos de erosión, los materiales pétreos utilizados en los edificios pueden experimentar procesos de alteración no erosivos, algunos de ellos provocados por microorganismos, algas, líquenes, hongos, etc., que afectan espe-

cíficamente a su aspecto sin incidir en las características resistentes del material y, en consecuencia, en las condiciones de seguridad de los muros.

Pautas para la intervención

Las actuaciones en los casos de reducción de sección de los muros suelen ser preventivas, destinadas a paralizar los procesos inductores de los daños eliminando las fuentes de humedad o su contacto con la piedra y las sales u otras impurezas que pueda contener, como operaciones previas a la aplicación de productos protectores o hidrofugantes compatibles con las propiedades de la piedra y que no reduzcan su permeabilidad al vapor.

En casos extremos, poco habituales, en que se presenten situaciones muy avanzadas de deterioro que requieran restituir las características resistentes del muro, se procederá a la sustitución de los mampuestos afectados con piedras sanas o con otro material capaz de restituir su capacidad resistente y, si procede, la cualidad arquitectónica del elemento dañado (fig. 50-2).



Fig. 50.2. En la foto de la izquierda, erosión de un pilar de piedra con incrustaciones puntuales de refuerzo. En la foto de la derecha, muro con erosión avanzada en algunos mampuestos junto a tramos de muro ya reconstruidos con ladrillo.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1997). *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·le-gi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 3, 4, 5, 6, pp. 39-106).

AA. VV. (2013). "Criterios de intervención en materiales pétreos". *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España (pp. 39-106).

AENOR (2008). "Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de fábrica", UNE 41805-5 IN, Diagnóstico de edificios, Parte 5.



ALONSO, F., ORDAZ, J., ESBERT, R. M. (2013). "Indicadores del deterioro en los materiales pétreos de edificación". *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España (pp. 109-185).

MONJO, J. (2000). "Erosiones". *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Ed. Munilla-Lerá, Madrid (cap. IX, pp. 359-397).

OLMOS, C. (1991). "Patología de la piedra y el ladrillo". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 1, cap. 8, ap.1, 2, 3, pp. 183-201).



Anomalía 51

Acción de los agentes inductores de la suciedad en las fachadas

Los principales depósitos de material que aparecen en las fachadas y provocan su ensuciamiento pueden distinguirse según contengan o no material de origen biológico. Los depósitos sin contenido de material biológico son debidos a la sedimentación de partículas en suspensión en el aire que se adhieren a las fachadas por simple depósito o bien por la humedad ambiental. Estos provienen de las partículas sólidas emitidas en la combustión de los hidrocarburos (vehículos, calderas, industria, etc.) (fig. 51-1). En la superficie de la fachada se forma una fina película de agua proveniente de la condensación o la deposición de gotas suspendidas en el aire que atraen las partículas, las cuales quedan adheridas dando un aspecto de suciedad. En atmosferas contaminadas, a la deposición de partículas se une la acción de los ácidos en suspensión que se forman y que disgregan el material, formándose costras duras de suciedad que ocultan el deterioro subyacente.



Fig. 51.1. Manchas de suciedad por la adherencia de partículas sólidas en suspensión, mayormente producto de la combustión de hidrocarburos.

Entre los depósitos biológicos podemos distinguir los microorganismos y las plantas propiamente dichas, siendo los más frecuentes las algas, los líquenes, el musgo y los hongos (fig. 51-2, fig.51-3). Los microorganismos están formados por bacteri-



as que obtienen energía de las reacciones de oxidación y reducción que producen, formándose ácidos que atacan el material, que producen una disgregación superficial. También existen bacterias que obtienen energía oxidando materiales orgánicos y produciendo ácidos orgánicos con el mismo resultado de erosión del material. En muchos casos, estas acciones preparan el terreno para la colonización de las plantas.

Los crecimientos vegetales de algas, líquenes, musgo y hongos tienen su principal consecuencia en que desfiguran la imagen de la fachada, apareciendo como manchas aisladas o bien generalizadas en amplios sectores del paramento. Otra de las consecuencias de estos crecimientos deriva de su capacidad de retención de agua que puede conducir a problemas de degradación por disolución del material. En el caso concreto de los líquenes, extienden su crecimiento algunos milímetros dentro del material y lo descomponen mediante la producción de ácidos orgánicos, aunque este fenómeno suele ser de progreso muy lento.



Fig. 51.2. En la foto de la izquierda, crecimiento de líquenes, hongos y musgo sobre una pared de mampostería. En la foto de la derecha, crecimientos de líquenes (manchas ocre) y hongos (manchas oscuras).



Fig. 51.3. Crecimiento de musgo (de color verde) junto con algunas plantas.



Pautas para la intervención

Para la intervención en las manchas de suciedad, el tratamiento de limpieza a utilizar dependerá del tipo de mancha y de su adherencia al sustrato. El uso de sistemas basados en la aplicación de agua o los que se basan en la proyección de partículas son los más recomendados, dependiendo su uso del tipo de depósito (solubilidad al agua, dureza, porosidad), del tipo de material de fachada y de la climatología.

Para la limpieza de zonas afectadas por agentes biológicos, será necesaria la aplicación de productos biocidas para eliminarlos y proceder después a su limpieza. Estos productos tienen un PH alcalino y hay que tener precaución en su aplicación de manera que afecte lo mínimo posible al sustrato, debido a que pueden reaccionar con él formando sales solubles capaces de cambiar el color de la superficie afectada. Después del tratamiento con estos productos, se recomienda la limpieza mediante la proyección de partículas por ser una técnica seca, aunque, según la naturaleza del sustrato, también se pueden usar técnicas de limpieza con agua controlando la penetración en su interior.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (2013). "Criterios de intervención en materiales pétreos". *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España (pp. 39-106).

AA. VV. (1997). *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 3, 4, 5, 6, pp. 39-106).

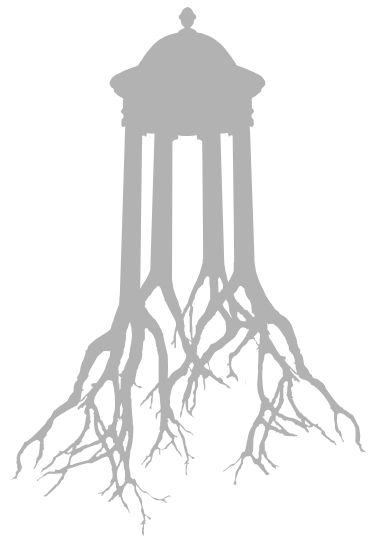
ALONSO, F. J., ORDAZ, J., ESBERT, R. M. (2013). "Indicadores de deterioro en los materiales pétreos de edificación. Clasificación y análisis de los daños". *Proyecto COREMANS: Criterios de intervención en materiales pétreos*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid (pp. 111-207).

ASHURST, N. (1994). *Cleaning historic buildings*. Donhead Publishing Ltd, London (Vol. 1, pp. 63-84).

BELLMUNT, R., PARICIO, A., VILA, N. (2000). *Reconeixement, diagnosi i intervenció a les façanes*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (pp. 36-37, 65-66).

IGLESIAS, M. (2007). "Sistemas de limpieza de materiales constructivos: limpieza mecánica y limpieza por láser". *Ciencia y tecnología para una conservación sostenible del patrimonio pétreo*. Restauradores sin fronteras e Instituto de Geología Económica (CSIC-UPM) (pp. 107-116)

TORRACA, G. (1988). *Porous building materials*. ICCROM, Roma (pp. 49-51).





EX3. ENVOLVENTE EXTERIOR: CUBIERTA

- Anomalía 52.** Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas planas
- Anomalía 53.** Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas inclinadas de teja
- Anomalía 54.** Presencia de amianto en cubiertas y otros elementos de los edificios
- Anomalía 55.** Deterioros en los elementos estructurales ubicados en los desvanes de las cubiertas inclinadas



Anomalía 52

Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas planas

La multiplicidad de soluciones constructivas que reciben la denominación de cubierta plana dificulta hacer una relación exhaustiva de las causas específicas que las pueden afectar. De todas formas, si se atiende solo a las soluciones más comunes, se puede hacer mención de una forma bastante completa de los síntomas que manifiestan y los problemas que les afectan con mayor frecuencia.

La filtración de agua de lluvia en una cubierta plana se percibe por las manchas de humedad en el techo o en la parte superior de las paredes de la última planta del edificio (fig. 52-1). Las causas que las generan suelen provenir de la pérdida de elasticidad progresiva debida al paso del tiempo del material al que se ha fiado la estanqueidad, de defectos en su puesta en obra y, en algunas escasas ocasiones, de defectos de fabricación del propio material. Los solapes de anchura insuficiente o mal soldados de las láminas estancas y los grosores insuficientes en las emulsiones líquidas o pastosas aplicadas *in situ* son los defectos más comunes. Otro origen de la problemática se halla en la resolución incorrecta de los puntos singulares de la cubierta, siendo los más reiterados los que se producen en los mimbales perimetrales o de los elementos descollantes, en los puntos de desagüe o en las juntas de dilatación del propio pavimento o coincidentes con las del edificio (fig. 52-2). La presencia de charcos después de las lluvias es signo de pendiente insuficiente en algún tramo, lo cual facilita la penetración del agua por los intersticios débiles de la estanqueidad o de los puntos singulares.

Si el pavimento de la cubierta está formado por rasillas cerámicas, es preciso tener presente que, salvo en cubiertas tradicionales en que las funciones de estanqueidad se confiaban a sus tres capas a rompejuntas, desde la aparición de las láminas con

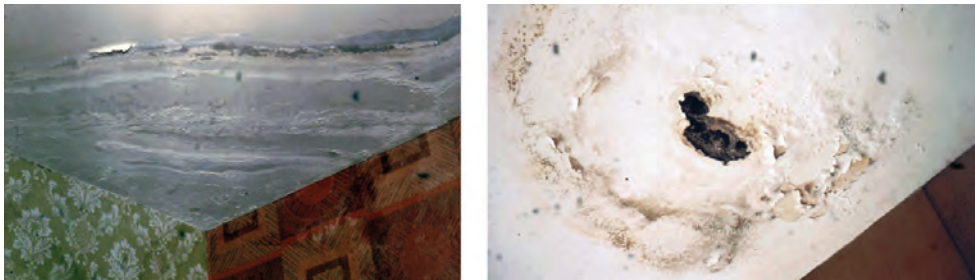


Fig. 52.1. Ejemplos de manchas de humedad en techos bajo cubiertas planas. Las aureolas señalan los sucesivos acontecimientos de lluvia.

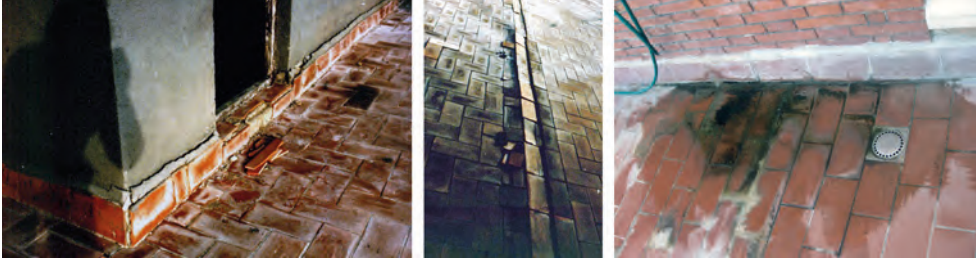


Fig. 52.2. En la foto de la izquierda, ejemplos de mimbel con grieta abierta en la parte superior. En la foto del centro, levantamiento del pavimento en junta de dilatación del edificio. En la foto de la derecha, charco junto a punto de desagüe por incorrección de la pendiente del pavimento en esta zona.

este cometido específico, las rasillas solo cumplen una función de uso como pavimento. Indirectamente, influyen en la reducción del salto térmico de la lámina estanca, al impedir los efectos de la radiación solar sobre ella, aumentando así su periodo de vida útil. Algunos de los defectos que pueden presentar, tales como juntas de pavimento levantadas, desadherencia de algunas piezas, juntas propias entre piezas levantadas, aparición de musgo o vegetales en el mortero de las juntas entre piezas, etc., si bien no necesariamente perjudican directamente la estanqueidad de la cubierta (fig. 52-3), reducen, en su caso, su funcionalidad como superficie transitable. En cambio, otros tipos de daños, tales como la resolución de los muretes de las barandillas y su remate superior, se traducen directamente en manchas de humedad en las fachadas u otros cerramientos verticales, al ser elementos especialmente expuestos en todas sus direcciones a la lluvia batiente impulsada por el viento, que requieren de un especial diseño o protección estanca en las piezas del remate superior, en los paramentos laterales de los muretes y en su encuentro con el pavimento (fig. 52-4).

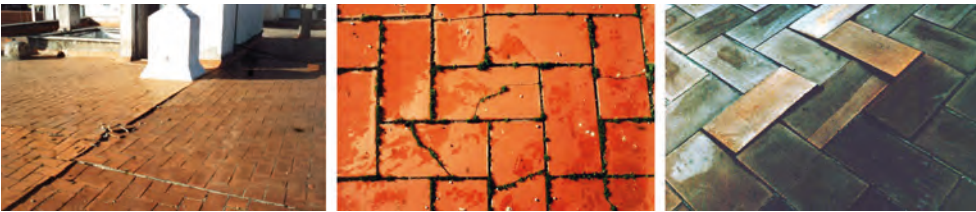


Fig. 52.3. Tres casos de defectos en el pavimento de rasilla. De izquierda a derecha, junta de movimiento con roturas, presencia de vegetación en las juntas de mortero y adherencia insuficiente de las rasillas al mortero.

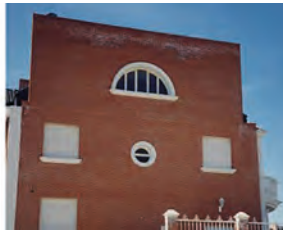
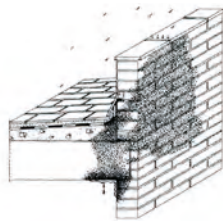


Fig. 52.4. Gráfico y ejemplo de fachada con humedades en su parte superior debidas a las filtraciones del agua de lluvia provenientes de la barandilla y de su encuentro perimetral con la cubierta.

Otro aspecto que se debe tener presente, no relacionado directamente con las filtraciones del agua de lluvia, es el que se produce en las cubiertas con hormigón ligero para ejercer la doble función de formación de las pendientes de la estanqueidad y de dotación de aislamiento térmico al cerramiento. En estas cubiertas, su prevista capacidad de aislamiento térmico puede reducirse al condensar el vapor de agua contenido de forma impropia en la masa del hormigón. Este problema, frecuente en las cubiertas de hace unas décadas, deriva de la puesta en obra acelerada de la lámina de estanqueidad antes de la evaporación completa del agua no combinada del hormigón, la cual permanece retenida en su interior reduciendo la capacidad de aislamiento térmico del elemento en épocas invernales. El bajo aislamiento térmico del forjado de cubierta fue el motivo de la consecuente formación de moho derivado de la baja temperatura superficial del techo de las viviendas, como consecuencia del fenómeno descrito. Problema que se redujo de forma significativa en las sucesivas soluciones de cubierta, cuando pasó a ser habitual la inclusión de un material específico de aislamiento térmico en forma de placas, confiando al hormigón ligero solo la función de dotación de pendientes, o con los nuevos tipos de cubierta invertida, disponiendo dicho material de aislamiento por encima de la lámina de estanqueidad (fig. 52-5).

Las cubiertas con cámara de aire ventilada, de gran profusión hasta mediados del siglo xx, redujeron drásticamente sus niveles de aplicación con la progresiva implantación de las cubiertas sin cámara anteriormente comentadas, más económicas y progresivamente mejoradas en su funcionamiento y características. La necesidad de disposición de aislamiento térmico en la cámara para cumplir con las crecientes exigencias normativas y el uso de láminas de estanqueidad, que transformaba en innecesario confiar esta función en la sucesión de capas de rasilla, anuló sus iniciales ventajas basadas exclusivamente en la ventilación de la cámara y en la libre dilatación del pavimento que la cubría.

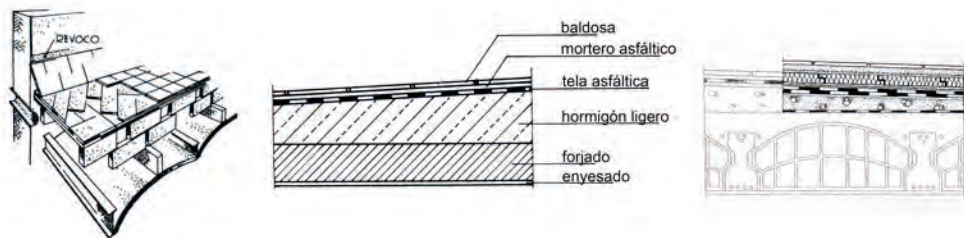


Fig. 52.5. De izquierda a derecha: cubierta tradicional con cámara de aire ventilada, cubierta tipo sándwich con hormigón ligero para formar pendientes y aislar térmicamente, y cubierta invertida con las placas de aislamiento por encima de la lámina de estanqueidad, en sustitución de la solución anterior.

Pautas para la intervención

La reparación puntual o zonal de afectaciones localizadas puede ser suficiente en los casos de intervención en desagües o para la solución de problemas que no afecten directamente al sistema general de estanqueidad de la cubierta. Actuaciones que consisten en la aplicación de pinturas elásticas de estanqueidad siguiendo las prescripciones del producto, dispuestas por encima del pavimento cerámico en el



caso de que exista, son un recurso de relativa eficiencia si se acepta su limitada vida útil en relación con otras soluciones. Si se requiere de actuaciones globales de renovación de la cubierta al verificarse un comportamiento anómalo asignable a una defectuosa calidad o puesta en obra inicial, o a la finalización de la vida útil de la estanqueidad, se puede optar por diversas soluciones. Cuando se trata de cubiertas planas sin cámara de aire, la solución más frecuentemente elegida consiste en la sustitución y subsiguiente renovación de todos los integrantes de la cubierta hasta el hormigón de pendientes, es decir, de la estanqueidad y el pavimento o acabado de gravilla. Ello permite, a su vez, si es preciso, la rectificación de las pendientes del hormigón ligero e incluir, si se considera necesario, un material que refuerce el aislamiento térmico inicial, a menudo en forma de placas dispuestas por encima o por debajo de la nueva estanqueidad (fig. 52-6). Si las placas se disponen por debajo de la lámina de estanqueidad, de hecho, se está variando el tipo de cubierta al transformarse en una cubierta invertida a las que se ha hecho alusión anteriormente.

Si el edificio tiene una forma geométrica suficientemente regular, puede optarse por incorporar una cubierta inclinada, disponiendo el aislamiento térmico en el interior del nuevo desván, con la posibilidad de verter las aguas por bajantes situados en el exterior del edificio (fig. 52-6).

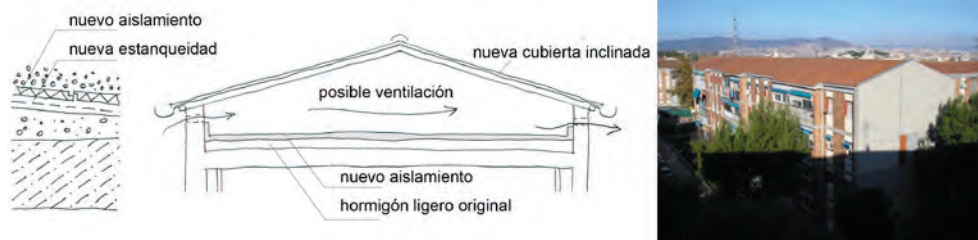


Fig. 52.6. A la izquierda, cubierta plana convencional con nueva lámina de estanqueidad e incorporación de placas de aislamiento térmico, que la transforma en cubierta invertida. En el gráfico del centro y en la foto, cubierta plana transformada en cubierta inclinada, con adición de aislamiento térmico en el nuevo desván.

Complemento bibliográfico

MONJO, J. (1995). "Patología de las cubiertas planas". *Curso de Patología*. Tomo 3, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (cap. 28, pp. 313-367).

TRUJILLO, L. (2002). "Lesiones más comunes en la cubierta plana". *Manual de diagnosis e intervenció en cubiertas planas*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 9, pp. 91-104).

TRUJILLO, L. (2002). "Intervenció". *Manual de diagnosis e intervenció en cubiertas planas*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (Parte II, pp. 25-66).

Anomalía 53

Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas inclinadas de teja

De forma similar a lo que sucede con las cubiertas planas, también son muchos los tipos de cubiertas inclinadas que reciben esta denominación. Este nombre se extiende a todas las cubiertas en las que las piezas de cobertura se disponen por encima de la solera o tablero, ya sea a base de rasilla cerámica o ladrillo hueco, o directamente apoyadas en rastreles fijados a las viguetas en pendiente. De todas formas, independientemente de su soporte, su problemática se puede sintetizar en unas cuantas situaciones comunes a todas ellas, mucho más frecuentes y acentuadas en las cubiertas inclinadas de teja de edificios antiguos o de una cierta antigüedad que en las más modernas y evolucionadas, que disponen de lámina de estanqueidad y aislamiento térmico incorporados de inicio (fig. 53-1).

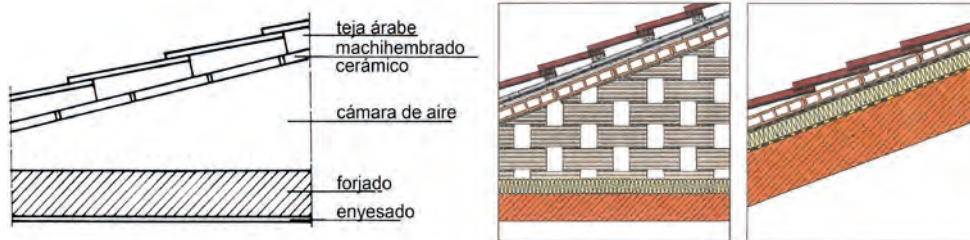


Fig. 53.1. A la izquierda, sección de cubierta de teja tradicional con solera de rasilla soportada por viguetas. En el centro y la izquierda, modelos recientes de cubiertas de teja con cámara y sin cámara de aire, dotadas de material de aislamiento térmico y lámina de estanqueidad adicional.

Los síntomas de los defectos de estanqueidad son visibles casi siempre por el interior de la última planta del edificio. Si las tejas se hallan sobre forjado, ya sea plano o inclinado, la forma de las humedades no se diferencia de las perceptibles en una cubierta plana o terraza. Si no disponen de forjado y existe cielo raso, a la presencia de humedades se suma el daño que puede percibirse en dicho elemento, con riesgo de desprendimientos del material que lo forma (cañizo, placas de yeso, etc.). Por otra parte, la propia permeabilidad de la cerámica de las tejas puede ser la causa directa de las filtraciones (fig. 53-2).

Entre los daños, soluciones incorrectas y actuaciones inapropiadas más frecuentes que es posible distinguir en esos tipos de cubiertas se hallan:



Fig. 53.2. En las fotos de la izquierda y el centro, daños en los falsos techos afectados por filtraciones a través de la cubierta de tejas. En la foto de la derecha, tejas con signos de humedad en su intradós.

- La presencia de tejas sueltas rotas o sustituidas de forma irregular en su recolocación.
- La presencia de tramos de tejas sustituidas aleatoriamente, amarteradas entre ellas o con la solera.
- La incorrecta ejecución de las entregas a los muros o petos perimetrales.
- La incorrecta resolución de los canales de desagüe y entregas con los bajantes.
- La adición de elementos descollantes, generalmente para la incorporación de tubos o conductos de instalaciones, sin soluciones convenientes al atravesar la cubierta o situarse directamente encima de ella.

En el origen de la mayor parte de problemas se evidencia la carencia de un adecuado mantenimiento o la ejecución descontrolada o excesivamente parcial de las intervenciones de reparación a lo largo del tiempo (fig. 53-3, fig. 53-4).



Fig. 53.3. Resolución incorrecta de los encuentros perimetrales de las tejas y presencia de tejas rotas.



Fig. 53.4. Ejemplos de sucesivas intervenciones de cambios puntuales de tejas o de incorporación de nuevos conductos de ventilación e instalaciones diversas.



Pautas para la intervención

En las *cubiertas de tejas con soluciones tradicionales*, formadas exclusivamente por soleras de una o dos capas de rasilla y a menudo sin una adecuada resolución de los bordes perimetrales y de los puntos singulares en general, resulta dificultoso ejecutar reparaciones parciales con garantías suficientes. En todo caso, hay que adicionar a estas dificultades las surgidas de la escasez de su capacidad de aislamiento térmico, muy inferior a las actuales exigencias de ahorro energético en la envolvente externa de los edificios (ver [Anomalía 60](#)). Las *cubiertas tradicionales de pizarra* ofrecen similares dificultades, con la única diferencia que el soporte de las piezas suele ser un entablonado de madera, en que la decisión sobre la conveniencia de su sustitución será su grado de pudrición. En las *cubiertas de teja modernas*, ejecutadas siguiendo las pautas y los criterios normativos de las últimas décadas, la puesta en práctica de las operaciones de inspección y mantenimiento en los plazos establecidos es, en general, suficiente para su buen funcionamiento, salvo en aspectos puntuales de defectuosa ejecución en las entregas con los cuerpos descollantes o en sus elementos de desagüe (limahoyas y canalones), que suelen ser los puntos débiles que requieren con más frecuencia de actuaciones de reparación. Como factor añadido a la problemática de la estanqueidad en todos estos tipos de cubiertas inclinadas, especial atención requieren los aleros en los procesos de inspección, diagnóstico e intervención, debido a los riesgos de desprendimiento y consecuente riesgo para las personas que comporta su situación (ver [Anomalía 43](#)).

Complemento bibliográfico

AA. VV. (1999). "Patología y reparación de cubiertas". *Tratado de rehabilitación. Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas*. Ed. Munilla-Lería, Madrid (cap. IV, pp. 331-382).

BROTO, X. (2006). "Humedad por filtración en cubierta inclinada". *Patologías de la construcción*. Enciclopedia Broto, ed. Links, Barcelona (Tomo 5, pp. 202-226).

SÁNCHEZ-OSTIZ, A. (1993-94). "Rehabilitación de cubiertas I, II, III". *Revista de Edificación (RE)* núm. 15 (pp. 17-26), núm. 16 (pp. 7-24), núm. 17 (pp. 7-14).



Anomalía 54

Presencia de amianto en cubiertas y otros elementos de los edificios

La presencia de elementos con amianto fue abundante en los edificios construidos a partir de los primeros años de la década de los años 60 hasta mediados de los años 80 del pasado siglo xx. A partir de esta fecha aparecieron las primeras restricciones a su uso, al conocerse los efectos perniciosos para la salud de la inhalación continuada de las fibras de amianto al desprenderse al aire, ya fuese durante su proceso de fabricación en determinadas condiciones de exposición o por la antigüedad de los elementos que las contienen una vez colocados en los edificios. En el año 2002, en España fue definitivamente prohibida la fabricación de todos los productos que contuvieran amianto en cualquiera de sus variantes. Pocos años más tarde, en el año 2006, se promulgó el decreto que fijaba los protocolos a seguir en los trabajos de eliminación de estos productos en los edificios con el fin de evitar los riesgos a los trabajadores en la manipulación necesaria para su extracción, transporte y definitivo vertido, así como los riesgos de sus efectos nocivos a lo largo de todo este proceso sobre la población y el medio ambiente.

En los edificios residenciales, los elementos en que más frecuentemente se usó el amianto fueron concretamente los conductos de evacuación, las chimeneas, los depósitos y las placas de fibrocemento de las cubiertas.

En principio, en la mayor parte de países su eliminación solo es obligatoria en los elementos que al disgregarse liberan al aire una cantidad de 0,1 fibras finas de amianto por centímetro cúbico de material. Es decir, no todo el amianto es igual de peligroso, y en un edificio puede haber elementos poco o nada friables, es decir, con escaso o nulo peligro de soltar fibras malignas para la salud, a no ser que se manipulen o rompan. No obstante, con el paso del tiempo un elemento puede ir aumentando su friabilidad, en función de su ubicación o sus características.

Si bien la apreciación visual no es estrictamente suficiente para detectar si la friabilidad del material hace necesaria su sustitución, la presencia de escamas en su superficie con las diferencias de tonalidad y las manchas negruzcas o marronosas pueden inducir a la conveniencia de la obtención de una información analítica más concisa o a su directa renovación, si la antigüedad del material supera las tres o cuatro décadas (fig. 54-1).



Fig. 54.1. Aspecto de placas de fibrocemento con amianto envejecidas, con posible superación del nivel de friabilidad permitido al amianto.

Pautas de intervención

En las cubiertas, hasta los primeros años del presente siglo eran relativamente frecuentes las soluciones de confinamiento de las placas con material friable por medio de la superposición de otras placas sin amianto, que evitaban la dispersión al aire de las fibras, o mediante soluciones específicas donde el amianto original quedaba encapsulado. Pero con el tiempo se ha tendido a soluciones más radicales de supresión de todos los elementos con contenido de amianto existentes, ya sean bajantes, depósitos, placas de cubierta o cualquier otro, siendo actualmente la forma de actuación prácticamente única, dadas las prevenciones obligatoriamente establecidas para su manipulación en obra (fig. 54-2). Por otra parte, dados los años transcurridos desde su colocación, son muchos los edificios en que ante la necesidad de cualquier modificación que implique perforar o modificar la forma de dichos elementos, se opta por su renovación total sin requerir un mayor conocimiento del nivel de riesgo que comporta su conservación.



Fig. 54.2. Ejemplos del proceso de sustitución de las placas de fibrocemento con amianto existentes.



Complemento bibliográfico

CASANOVAS, X., TRUJILLO, L., FREIXA, A. (2003). *Detección de amianto en edificios (I): aspectos básicos*. NTP-632 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

CASANOVAS, X., TRUJILLO, L., FREIXA, A. (2003). *Detección de amianto en edificios (I): identificación y metodología de análisis*. NTP-633 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

GRAUS, R. (1998). *Manual per a la diagnosi i el tractament de l'amiant a la construcció*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 1, 2, 3, 4, pp. 13-49).



Anomalía 55

Deterioros en los elementos estructurales ubicados en los desvanes de las cubiertas inclinadas

Es frecuente el estado de deterioro general en que se hallan un gran número de desvanes de edificios antiguos. Estos encierran los cuchillos, vigas y viguetas de madera que sirven de soporte a las cubiertas inclinadas, muchas de ellas de teja árabe apoyada simplemente en rastreles también de madera. Se constata la carencia de unas condiciones de inspección técnica y mantenimiento mínimas, cuya ausencia da pie a actuaciones irracionales o insuficientes para solucionar los problemas de envejecimiento progresivo e inseguridad de los elementos resistentes (fig. 55-1). La acumulación de sobrecargas excesivas, de apoyos indebidos de puntales o la existencia de elementos estructurales en mal estado afectados por las humedades, son algunas de las situaciones habituales en esta ubicación que pueden llevar al límite la seguridad de la propia cubierta y del forjado o falso techo de los alojamientos de la última planta del edificio.



Fig. 55.1. Ejemplos de desvanes con actuaciones improcedentes o en estado avanzado de deterioro de los elementos estructurales de soporte de la cubierta.



Pautas para la intervención

En los procesos de inspección de los edificios es prácticamente obligado acceder o, en todo caso, visualizar los espacios de desván bajo las cubiertas inclinadas con el fin de disponer de un conocimiento detallado de lo que contiene y del estado de los elementos estructurales allí ubicados. La eliminación de las sobrecargas y la sustitución o refuerzo de las vigas o del conjunto de los elementos resistentes de la cubierta serán las decisiones a adoptar en función de su estado. Los procedimientos de refuerzo de las vigas y viguetas de madera se pueden consultar en la [Anomalía 18](#).

Complemento bibliográfico

ARRIAGA, F. *et al.* (2002). "Actuaciones en armaduras de cubierta". *Intervención en estructuras de madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM) (ap. 6.6, pp. 171-180) [A56].

LÓPEZ COLLADO, G. (1976). "Causas en cubiertas". *Ruinas en construcciones antiguas*. Ministerio de la Vivienda (Segunda Parte, Sección Cuarta, pp. 285-311).

MAURER, M. (1994). *Acondicionamiento de desvanes*. Ed. CEAC, Barcelona.

PULIN, F. (1984). "Metodología de reparación de cubiertas tradicionales". *Curso de rehabilitación 6. La cubierta*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (pp. 93-106).

ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma (Parte Seconda D1; Coperture, capriate lignee, pp. 102-120).





EX4. ENVOLVENTE EXTERIOR: EDIFICIO EN SU CONJUNTO

Anomalía 56. Efectos de la expansión del agua helada sobre los materiales porosos

Anomalía 57. Deterioros debidos al crecimiento de las raíces de los árboles y las plantas



Anomalía 56

Efectos de la expansión del agua helada sobre los materiales porosos

El cambio de estado de agua a hielo se produce con un aumento aproximado del 9 % del volumen inicial del agua. Si el agua se halla en el interior de los poros del material, las fuerzas expansivas originadas por el cambio de estado pueden originar daños en el material en forma de roturas superficiales, descamaciones, exfoliaciones, cuarteos, etc. (fig. 56-1).

En el hormigón, suelen requerirse varios ciclos de hielo-deshielo para que el material resulte afectado de forma sensible, y por otra parte, el agua en los poros capilares tiene un punto de congelación más bajo. En general, se requiere que la temperatura descienda frecuentemente a lo largo del año por debajo de los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para causar daños superficiales. Los factores que más inciden sobre la formación de estos daños por el efecto del hielo son las siguientes:

- *La situación de la superficie del hormigón en relación con la lluvia.* Las superficies exteriores horizontales son, con diferencia, las más afectadas por las heladas, puesto que facilitan enormemente la penetración y mantenimiento del agua en la masa del material.
- *La porosidad.* A mayor porosidad abierta del material, mayor riesgo de daño.
- *El número de ciclos hielo-deshielo.* Como se ha expuesto anteriormente, este es un factor muy importante en el deterioro del material.
- *La dosificación de cemento.* A mayor contenido de cemento, menor factibilidad de deterioro.
- *La relación agua-cemento.* Cuanta mayor cantidad de agua a evaporar en etapas tempranas del hormigón, mayor porosidad, y a mayor porosidad, mayor posibilidad de daño.

En los materiales cerámicos, los pavimentos exteriores suelen ser los elementos más frecuentemente afectados, si bien los ladrillos y las tejas de las cubiertas inclinadas pueden también resultar dañados (fig. 56-2). El grado de heladicidad depende fundamentalmente de las condiciones de porosidad y absorción del material, requiriendo pruebas específicas, tanto las tejas como las baldosas, para asegurar su resistencia a los ciclos hielo-deshielo. Las normas actuales consideran que, entre otras características, para evitar esta problemática la absorción de agua del material debe ser inferior al 3 % de su peso.

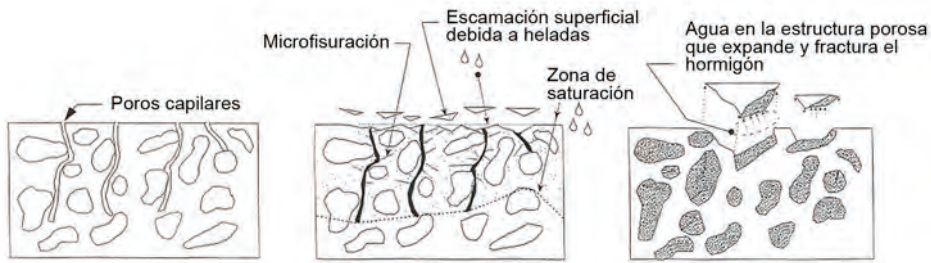


Fig. 56.1. Representación gráfica del proceso de fractura interna del hormigón por el efecto de acuñamiento del hielo.



Fig. 56.2. Cubierta de teja árabe y pavimento cerámico de cubierta afectados por el efecto del hielo.

Pautas para la intervención

Las condiciones ambientales y las características intrínsecas del material son, como se ha comentado, las causas generadoras de las anomalías. La aplicación de recubrimientos hidrofugantes y de estanqueidad superficial, cuando es posible, que impidan la entrada del agua de lluvia en la masa del material suele ser el recurso más utilizado. Sin embargo, estas soluciones no son de aplicación en cubiertas de teja, o cuando la superficie del pavimento ha perdido de forma substancial su planicidad; en estos casos, la sustitución de las piezas es la solución idónea.

Complemento bibliográfico

ASCER *et al.* (2006). *Guía de la baldosa cerámica*. Asociación Española de Fabricantes de Azulejos, Pavimentos y Baldosas Cerámicas (cap. 4, pp. 41-49; Anejo 2, ap. 2.8, pp. 111).

DÍAZ, C. (2000). "Lesiones por acciones físicas en el hormigón armado". *Manual de diagnóstico e intervención en estructuras de hormigón armado*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (pp. 27-48).

JOISEL, A. (1975). "Entumecimiento por congelación". *Fisuras y grietas en morteros y hormigones*. Editores Técnicos Asociados (cap. IV, ap. 4.4, pp. 77-91).

OLMOS, C. (1991). "Acción del hielo". *Curso de patología, conservación y restauración de edificios*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tomo 1, cap. 8, ap. 2.3.3., pp. 189-190).



Anomalía 57

Deterioros debidos al crecimiento de las raíces de los árboles y las plantas

Las raíces de los árboles y de las plantas pueden ejercer efectos nocivos sobre algunos materiales y elementos de los edificios. Son bien conocidos los efectos de algunas especies de plantas trepadoras cuyas raíces penetran en los poros húmedos de los materiales que conforman los muros de mampostería de piedra o ladrillo. Al crecer y aumentar de volumen, ejercen en ellos un efecto de acuñamiento que provoca la progresiva descomposición de los materiales (fig. 57-1). Por otra parte, las raíces de los árboles pueden tener un efecto desecante en los terrenos situados dentro de los denominados bulbos de presiones de las cimentaciones superficiales de los edificios y elementos construidos próximos, que provocan variaciones en su contenido de humedad y, con ello, contracciones de su volumen, que dan lugar a desperfectos muy diversos, que pueden ser desde asentamientos diferenciales en los edificios a la rotura de conductos enterrados de las instalaciones urbanas, pavimentos exteriores, muros exentos de cierre, etc. (fig. 57-2, 57-3). La vegetación alimentada por el betún presente en algunas láminas de estanqueidad o, sencillamente por la humedad retenida en las juntas del pavimento o del mortero de agarre de las tejas, puede también afectar al comportamiento estanco de las cubiertas (Anomalía 52).



Fig. 57.1. Dos ejemplos de muros con presencia de plantas trepadoras con factible efecto sobre las juntas mortero o de las piedras de la mampostería.

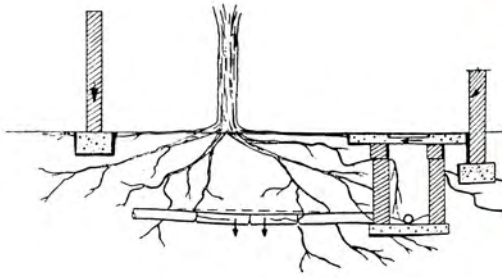


Fig. 57.2. A la izquierda, esquema de los posibles efectos de las raíces del arbolado sobre los edificios y los elementos de las instalaciones urbanas. A la derecha, ejemplo del efecto de las raíces sobre la pavimentación y la tapia próximas.

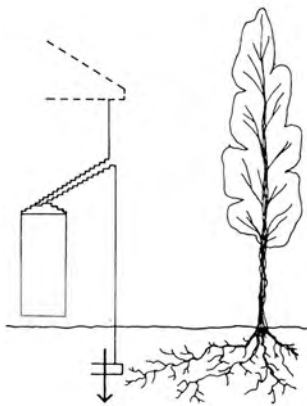


Fig. 57.3. Efectos diversos de las raíces de los árboles originados por la desecación del terreno o la fuerza expansiva y descontrolada en algunos templos asiáticos (Angkor, Siem Riap, Camboya).

Pautas para la intervención

La eliminación de las raíces de las plantas presentes en las juntas de los muros requiere, generalmente, de una operación posterior de rejuntado para la colmatación del mortero eliminado ([Anomalía 1](#)). Es recomendable que esta operación se realice con el conocimiento previo de las características del mortero existente y del material que conforma el muro para asegurar el restablecimiento de la resistencia inicial, y evitar incompatibilidades del material de aportación con el de las juntas y con los mampuestos de piedra o ladrillo existentes.

La eliminación de los efectos del arbolado sobre las cimentaciones de los edificios requiere necesariamente de la eliminación previa del árbol o los árboles causantes de los desperfectos con sus raíces y, si ello es posible, de su replantación fuera del radio de crecimiento y expansión de sus raíces ([fig. 57-4](#)). Puede ser preciso la reparación de los efectos causados en los diversos elementos dañados del edificio (sustitución de alcantarillas, reposición de pavimentos, cosido de grietas, etc.). Aunque es poco habitual, si las grietas siguen activas un tiempo después



de la eliminación del arbolado, se requerirá el recalce del edificio (Anomalía 28, Anomalía 29).

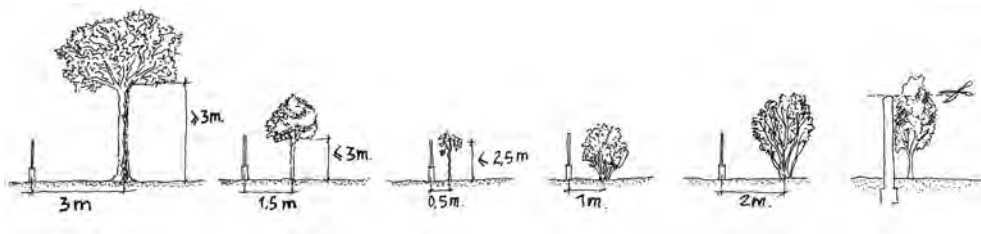


Fig. 57.4. Distancias recomendadas entre los árboles y los elementos edificados próximos.

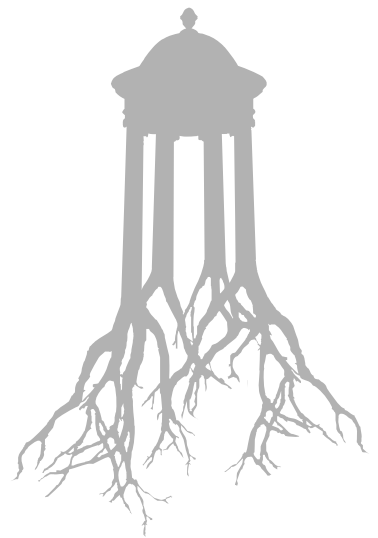
Complemento bibliográfico

BOERI, A. (2001). "Il contesto. Elementi di agronomia". *Tecnologia per il recupero degli edifici rurali*. Minerva ed. (ap. II.4, pp. 75-84).

CUTLER, D. F., RICHARDSON, I. B. K. (1986). *Raíces de árboles y edificios*. Ed. Raíces.

CHRESTIEN, M. (1951). "La acción a distancia de la vegetación sobre las construcciones". *Informes de la Construcción*, núm. 35.

LÓPEZ COLLADO, G. (1976). "Las raíces de las plantas". *Ruinas en construcciones antiguas, causas consolidaciones y traslados*. Ministerio de la Vivienda, Madrid (cap. VI, pp. 223-228).







PI. OTROS ELEMENTOS: PAVIMENTOS E INSTALACIONES

Anomalía 58. Grietas y abombamientos en pavimentos interiores de baldosas cerámicas

Anomalía 59. Fugas en las instalaciones de suministro y evacuación de aguas



Anomalía 58

Grietas y abombamientos en pavimentos interiores de baldosas cerámicas

Desde hace ya algunos años, los solados con baldosas cerámicas de formatos 30 x 30, 40 x 40 cm, o incluso de tamaños superiores y grosores del orden de 0,6 a 0,9 cm, comúnmente llamados pavimentos de gres, constituyen una solución habitual para pavimentar los interiores de los edificios residenciales e, incluso, los destinados a otros usos. Con anterioridad al uso de estas baldosas se habían aplicado, también, rasillas cerámicas de 10 x 20 cm o 15 x 30 cm. Sin embargo, aunque el nivel de aplicación de las baldosas de gres sigue siendo alto, se aprecia con cierta frecuencia un comportamiento anómalo al cabo de pocos años de su colocación.

De forma análoga a la realizada para los recubrimientos cerámicos de fachada, en el [Cuadro 58-1](#) se sintetizan los factores que intervienen en su comportamiento y se relacionan las diversas anomalías que en ellos se presentan. En dicho cuadro se puede observar que algunos factores y anomalías son coincidentes con los de los recubrimientos de fachadas, mientras que otros, tales como los relacionados con la formación de la base y la deformación de los forjados, son específicos de los pavimentos.

También en estos tipos de pavimentos, como sucede en los recubrimientos de fachada, las causas originarias de los daños suelen responder a factores diversos y entrecruzados, y no siempre es posible discretizar el de mayor incidencia en la formación del daño, ya que pueden intervenir aspectos tan diversos como los que se citan en la siguiente relación:

- a) Fragilidad intrínseca del propio solado, formado por piezas con relaciones tamaño-grosor muy altas, que pueden llegar a alcanzar niveles tensionales elevados para absorber los esfuerzos de compresión o flexocompresión.
- b) Escasa anchura de las juntas entre las piezas, que agrava el problema anterior al reducirse su capacidad de deformación en la dirección del propio pavimento ([fig. 58-1](#)).
- c) Dificultad, tanto mayor cuanto mayor es el tamaño de las piezas, de conseguir el contacto directo de la totalidad de su superficie con el material de adherencia ([fig. 58-1](#)).
- d) Dificultad de formar bases de grosor, deformabilidad y adherencia adecuados para cumplir las funciones de capa niveladora y de transición mecánica de las tensiones entre el pavimento y el forjado o la solera ([fig. 58-3](#)) (en esta cuestión, existe una gran divergencia entre los métodos recomendados para la formación de las bases y su relación mecánica con los forjados).



- e) Incidencia de las deformaciones a flexión experimentadas por el forjado en el periodo posterior a la colocación del pavimento (flecha activa), al incrementar su estado tensional de forma tanto más significativa cuanto mayor son las baldosas, estrechas las juntas entre piezas, rígidos los materiales en la interfase forjado-pavimento (capa de base y adhesivo) y menos efectivas las juntas perimetrales. Cabe destacar la importancia de las deformaciones diferidas en los forjados planos de hormigón vertido *in situ* a causa de su elevada fluencia plástica, que puede ser del orden de dos a tres veces la deformación elástica instantánea.
- f) Incidencia de las variaciones de temperatura sobre el estado tensional del pavimento, al actuar las dilataciones térmicas en el mismo sentido que las deformaciones de los forjados tratadas en el punto anterior. El salto térmico entre zonas de un mismo pavimento debido a la proximidad de la calefacción o a regímenes de soleamiento intenso diferentes, también puede ser el factor crítico en su comportamiento (fig. 58-2). De forma similar a los efectos anteriormente expuestos para la deformabilidad de los forjados, el incremento tensional y la factibilidad de formación de abombamientos debido a los efectos térmicos serán, en este caso, tanto más probables cuanto más grandes y delgadas sean las baldosas, estrechas las juntas entre piezas, poco efectivas las juntas perimetrales y débil la adherencia en la interfase baldosa-adhesivo y adhesivo - capa de mortero, o, en su caso, baldosa - capa de mortero directamente.

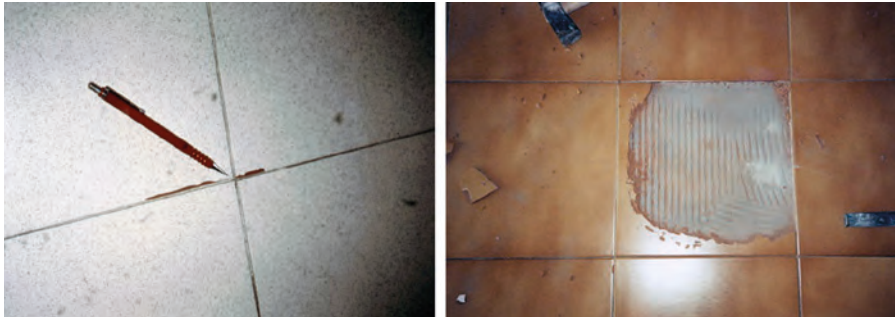


Fig. 58.1 En la foto de la izquierda, descantillado de una de las juntas en un pavimento colocado prácticamente con junta a tope. En la foto de la derecha, marcas en el mortero cola que muestran la insuficiente presión en el momento de la colocación.



Fig. 58.2. En la figura se representa una de las formas de anomalía del pavimento, que responde al impedimento de deformación inducido por el forjado levantando las piezas y abriendo la junta entre ellas. En las fotos del centro y la derecha, dos casos de pavimento sin previsión de deformación lateral, desadheridos zonalmente de la base. Los movimientos de abombamiento del pavimento pueden estar provocados por la dilatación generada por algún elemento próximo de la calefacción (tubo, radiador, etc.).



Este conjunto de factores y situaciones complejas son los que deben tenerse presentes para prevenir la formación del daño en los pavimentos cerámicos.

FACTOR	DEFECTO, DAÑO
Formación de la base	<ul style="list-style-type: none">– Roturas en el pavimento coincidentes con fisuras de retracción de la base realizada con un mortero demasiado rígido– Presencia de baldosas sueltas por insuficiencia de adherencia en la interfase base de mortero-adhesivo o adhesivo-baldosas
Características y disposición de las juntas	<ul style="list-style-type: none">– Juntas a tope o de escasa anchura entre las baldosas cerámicas– carencia de junta perimetral bordeando los cerramientos verticales
Movimientos térmicos	<ul style="list-style-type: none">– Esfuerzos de flexo-compresión y abombamientos zonales en el pavimento originados por la dilatación térmica diferencial de la cerámica en relación con su base
Movimientos de flexión de los forjados	<ul style="list-style-type: none">– Esfuerzos de flexocompresión y abombamientos zonales en el pavimento debidos a la deformación de flexión elástica y diferida del forjado
Aplicación de los productos	<ul style="list-style-type: none">– Superación del tiempo de utilización del adhesivo– Superación del tiempo abierto de colocación de las baldosas sobre el adhesivo– Insuficiente presión de las baldosas sobre el adhesivo o discontinuidades en la disposición del adhesivo sobre la base– Incumplimiento de las prescripciones referentes a la preparación de las baldosas– Incumplimiento de las prescripciones referentes a la mezcla del adhesivo o al grosor nominal del adhesivo sobre la base de mortero– Incumplimiento de las prescripciones de colocación de los productos
Adecuación y características de los productos aplicados	<ul style="list-style-type: none">– Inadecuación del adhesivo a las características del soporte o de las baldosas– Prescripciones de aplicación insuficientes o erróneas– Propiedades de los productos no coincidentes con las establecidas en la homologación o especificación
Reología y cansancio de los materiales	<ul style="list-style-type: none">– Reducción lenta de las características de adherencia de los materiales en contacto– Aumento de las solicitaciones rasantes por rigidización progresiva del material adhesivo o del soporte

Cuadro 58-1. Factores incidentes, defectos y daños más frecuentes en los pavimentos cerámicos.



Fig. 58.3. En la foto de la izquierda, grieta formada en solado sobre capa excesivamente compresible. En las fotos central y derecha, grietas siguiendo recorridos de grietas de retracción en las soleras.



Pautas para la intervención

La forma y el alcance de la intervención dependerá de la causa inductora del pavimento dañado. En cualquier caso, se tratará de recolocar o sustituir todas las piezas o tramos de pavimento desadheridas de la base o rotas. Como se ha expuesto anteriormente, las causas más frecuentes de daño se hallan en la insuficiente adherencia del mortero a la base o a la pieza cerámica, los movimientos térmicos del pavimento debidos a las diferencias de temperatura y a los movimientos de flexión del forjado. Estas causas pueden presentarse conjuntamente. Según sea la causa que origine el daño se podrá plantear una sustitución puntual o zonal, o será preciso una intervención más general. Una intervención puntual o zonal suele estar relacionada con una deficiente colocación o con una cuestión de salto térmico por proximidad a elementos de calefacción. En cuanto a las intervenciones más generales, hay que advertir que la simple formación de una junta perimetral de movimiento alrededor de las estancias no siempre consigue solucionar los problemas debidos a los cambios térmicos o a la flexión del forjado, puesto que los niveles de adherencia de las piezas pueden no ser homogéneos en toda la superficie del solado y hallarse su desplazamiento impedido a tramos. Otro aspecto a considerar cuando la formación del daño se relacione con la deformación del forjado, es la de aplazar el mayor tiempo posible la actuación de reposición, con el fin que los movimientos de fluencia se hayan producido en su práctica totalidad. Finalmente, conviene ser estricto en la elección del mortero de agarre a utilizar, siguiendo las prescripciones técnicas del producto, que han de ser acordes con las características de las piezas cerámicas colocadas. En todo caso, son aconsejables las recolocaciones con juntas de una anchura que evite el contacto entre las piezas.

Complemento bibliográfico

ASEMAS. *Revestimientos de suelo con baldosas cerámicas*. Ficha Revestimientos 6. Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

DÍAZ, C. (2004). "Patología de los recubrimientos cerámicos". *Libro de Actas del VIII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico QUALICER-200*. Castellón (Tomo 1, pp. M.D.3 - M.D.10).

MONJO, J. (1999). "Patología y reparación de pavimentos". *Tratado de Rehabilitación. Patología y técnicas de intervención: fachadas y cubiertas* (cap. 4, ap. 157-178).

PORCAR, J. L. (2005). "Despegue y levantamiento de solados"; "Fisuraciones en alicatados y solados"; "Defectos en la ejecución de las juntas". *Defectos y disfunciones en alicatados y solados. Diagnóstico y prevención*. Instituto de Promoción Cerámica, Diputación de Alicante (pp. 111-180).



Anomalía 59

Fugas en las instalaciones de suministro y evacuación de aguas

Los conductos de las instalaciones de suministro y evacuación de agua suelen discurrir empotrados o encajonados en las tabiquerías o ubicados debajo de los pavimentos, o en el interior de las cámaras sanitarias. Las fugas de agua desde dichos conductos generan anomalías de diversa índole, tanto en el interior de las viviendas como en los espacios comunes de los edificios. Frecuentemente, estas anomalías son asociables de forma más o menos directa con insuficiencias de mantenimiento o con prolongaciones excesivas de su vida útil. Sus efectos son visibles a través de las manchas que forman en los cerramientos exteriores en las zonas próximas a los canalones o bajantes. Son visibles, también, en los revestimientos de las divisiones interiores coincidentes, muchas veces, con los lugares de paso de los conductos de suministro o evacuación. A veces, el agua puede discurrir por el interior de las piezas huecas de los muros y tabiques, por los espacios limitados por ellos o por los falsos techos, y mostrar el daño en lugares más o menos alejados del punto de fuga. Las manchas, además de mostrar una coloración diferente con perfil de mayor o menor nitidez y desperfectos en los materiales de revestimiento y acabado, pueden coincidir con la formación de moho alimentado por las condiciones de humedad prolongada retenida en la porosidad del material de revestimiento (fig. 59-1).

Las fugas también pueden producirse en los conductos horizontales de evacuación, que transcurren enterrados, o por la cámara sanitaria del edificio, como ya se ha comentado al referirse a las humedades en las plantas bajas (Anomalía 33 y Anomalía 34) y cámaras sanitarias (Anomalía 35), propiciando inundaciones y situaciones de insalubridad. Por otra parte, las necesarias operaciones de sustitución de los conductos obsoletos históricamente construidos con piezas cerámicas y, posteriormente, con fibrocemento u hormigón centrifugado, afectados por obstrucciones o con pérdidas localizadas en las juntas o en los empalmes de las piezas, han sido una de las actuaciones que de forma más generalizada se ha tenido que realizar, no solo en los edificios antiguos sino también en los construidos hace pocas décadas.

Una problemática más concreta es la que se presenta en las instalaciones de agua en que se disponen tubos de hierro en los conductos generales y tubos de cobre en los tramos que conducen a los aparatos de baños y cocinas. En esta situación, nada extraña en las instalaciones de hace algunos años en los edificios residenciales, eran frecuentes las fugas originadas por la corrosión galvánica del hierro en los puntos de contacto entre ambos materiales.

Cabe también hacer especial mención de los efectos nocivos de las fugas comentadas sobre los elementos estructurales a base de hormigón armado o acero, puesto



que la presencia de agua junto a la del CO₂ son los agentes necesarios para inducir la oxidación de los materiales metálicos cuando no se hallan debidamente protegidos.

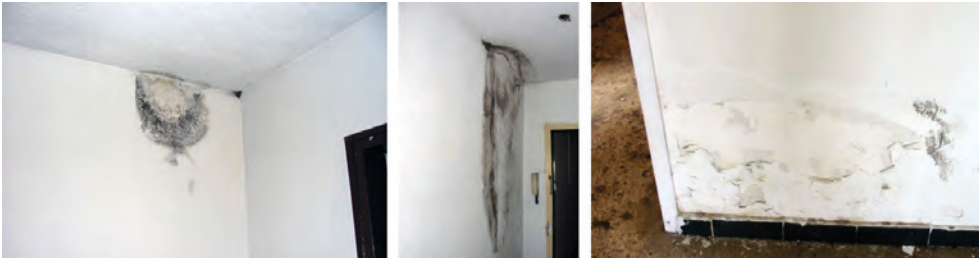


Fig. 59.1. Ejemplo de manchas de humedad con presencia de moho, formadas por el agua que transcurre por los conductos de las instalaciones.

Pautas para la intervención

La solución de este tipo de daños requiere de la localización de los puntos de fuga de la instalación de suministro o evacuación, la reparación o recambio de los tramos de conductos o uniones que originan las fugas, y la consiguiente reposición de los materiales afectados por el agua.

Complemento bibliográfico

CASADO, N. (2002). "La inspección y la diagnosis previas de la diagnosis". *Inspección y diagnosis*. Escola Sert. Col·legi d'Arquitectes de Catalunya (COAC) (Parte 2, pp. 47-88).

ELDRIDGE, H. J. (1982). "Instalaciones". *Construcción: defectos comunes*. Ed. Gustavo Gili, Barcelona (cap. 11, pp. 371-399).





SH. SOSTENIBILIDAD Y HABITABILIDAD

- Anomalía 60.** Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas tradicionales
- Anomalía 61.** Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas modernas
- Anomalía 62.** Carencia en el aislamiento acústico del ruido exterior
- Anomalía 63.** Carencia en el aislamiento acústico del ruido interior



Anomalía 60

Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas tradicionales

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, la consciencia actual sobre la limitación de recursos disponibles ha supuesto un cambio de paradigma con respecto al momento de construcción de la edificación tradicional. Es por ello que los edificios construidos con técnicas tradicionales precisan de intervenciones que permitan limitar la demanda energética de la envolvente y mejorar la eficiencia de los sistemas para, así, poder reducir su consumo energético adaptándose a la nueva realidad y necesidades.

El desempeño energético de estos edificios depende, en gran parte, de la resistencia térmica de los materiales y de los sistemas constructivos que conforman su envolvente térmica (fig. 60-1). Su eficacia depende, por tanto, de la magnitud de las pérdidas de calor, medidas habitualmente por la transmitancia térmica de los elementos (W/m^2K), que conforman las partes opacas de las fachadas y del resto de muros exteriores, de las características térmicas y porcentaje de los huecos, y de las soluciones constructivas de soleras y cubiertas.

Las exigencias de reducción de la demanda energética en los edificios se reflejan de forma progresiva en las normativas vigentes, tanto estatales como europeas, al establecer valores límite cada vez más bajos de las transmitancias térmicas de los diversos elementos de su envolvente exterior, que obligan en la práctica a reforzar el aislamiento térmico de la mayor parte de los edificios del parque residencial actual, en especial del construido con anterioridad a 1980 aproximadamente. Dichas normativas obligan también, en algunos casos, a revisar los sistemas de producción y suministro energético que se utilizan.

Los muros de los edificios tradicionales, edificados con anterioridad al primer tercio del siglo xx, son en su mayor parte gruesos, de tierra o tapia, de adobe o de mampostería de piedra, en general ordinaria o no concertada, y mortero de cal, con espesores que pueden variar entre los 40 y 80 cm aproximadamente (fig. 60-1, fig. 60-2). También pueden ser de obra de fábrica de ladrillo macizo manual de una asta o asta y media, si bien a partir de mediados del siglo xix, cuando los muros no son de fachada exterior, su espesor se reduce frecuentemente a la media asta. La transmitancia térmica de dichos elementos, en el mejor de los supuestos, alcanza valores alrededor de los $0,8 W/m^2K$, todos ellos muy superiores, por tanto, a los máximos admitidos actualmente en todas las zonas climáticas españolas.



Fig. 60.1. Tres ejemplos de casas tradicionales en que se reflejan las características típicas de las envolventes exteriores más frecuentes.

Los huecos de las ventanas y puertas son, prácticamente sin excepción, a base de carpintería de madera con vidrio simple y suelen contar con protecciones solares mediante persianas o postigos exteriores o interiores de madera. De hecho, las pérdidas energéticas que se producen en ellos solo alcanzan un valor alrededor del 10 % de las pérdidas totales, debido a sus pequeñas dimensiones con respecto a la globalidad de la envolvente térmica. Sin embargo, se trata de puntos especialmente sensibles, puesto que su transmitancia térmica es considerablemente mayor a la de las partes opacas, al ser del orden de unas 4 o 5 veces superior.

En cuanto a los cerramientos exteriores horizontales, las soleras eran prácticamente inexistentes, con un pavimento de losas de piedra, hidráulico o cerámico, o mediante una fina capa de mortero, sin encachado de grava, no exigiéndosele a dicho elemento otra función que la de servir de base al pavimento. Por lo que se refiere a las cubiertas, en su mayor parte eran inclinadas, construidas con tejas cerámicas árabes o pizarra, colocadas sobre una solera de rasilla cerámica o entablonado de madera (fig. 60-2). Las cubiertas planas o terrados no fueron hasta bien entrado el siglo XIX elementos habituales, y a partir de estos años solo en las fincas urbanas. Su resistencia térmica, con o sin cámara de aire ventilada, estaba muy por debajo de las habituales en los muros.

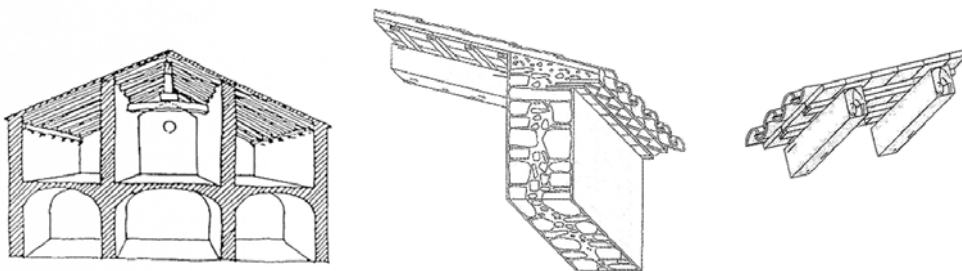


Fig. 60.2. Aspectos distintivos de la envolvente térmica de los edificios con técnicas tradicionales: muros gruesos y cubiertas livianas de muy baja resistencia térmica.

Además de la excesiva demanda energética, la baja eficiencia y rendimiento de las instalaciones y la inexistencia o baja eficacia de los sistemas de captación tienen como consecuencia en estos edificios unos altos consumos de energía en invierno. De todas formas, la elevada inercia térmica de los muros es un factor que, según sea el uso de las estancias y la regulación de sus temperaturas, puede ser favorable



para la reducción estacional de la demanda energética. Por otra parte, la ventilación a través de las carpinterías, puertas antiguas y grandes espacios sombreados favorecen las condiciones de renovación interior del aire y de confort estivales, sin requerimiento de aplicación de fuentes de energía complementarias.

Pautas para la intervención

A fin de reducir la demanda energética de las edificaciones, puede procederse al refuerzo de aislamiento térmico de los diferentes componentes de la envolvente térmica, teniendo en cuenta su contribución a las pérdidas globales de calor.

En el caso de construcciones tradicionales, en las que habitualmente las fachadas tienen un valor patrimonial o resulta conveniente conservar el acabado exterior (molduras, cambios de material en puntos singulares como huecos y esquinas, etc.), la intervención más habitual es la colocación o el refuerzo de aislamiento térmico por la cara interior del muro. El principal inconveniente de las soluciones con esta ubicación del refuerzo es que no aprovechan la inercia térmica de los muros gruesos habituales en la construcción tradicional. En contraposición, resultan más eficaces en climas fríos y húmedos y en fachadas orientadas a norte, es decir, en aquellas condiciones en las que difícilmente puede aprovecharse la masa térmica interior porque la radiación solar es baja. Asimismo, resultan también adecuadas para condiciones de uso discontinuas que requieren de un acondicionamiento rápido de las condiciones de confort interior, y cuyo uso intermitente no permite aprovechar las ventajas de la inercia térmica. Evidentemente, también son aplicables las técnicas de refuerzo de aislamiento térmico por el exterior del cerramiento relacionadas y descritas en la [Anomalía 61](#), con las ventajas e inconvenientes allí apuntadas.

Las soluciones más habituales de refuerzo por el interior del cerramiento consisten en la disposición de un trasdosado tipo sándwich a base de placas con material de aislamiento térmico incorporado ([fig. 60-3](#)). A veces se opta por disponer un tabique de doblaje de obra cerámica formando cámara que encierra el material específico de aislamiento térmico dispuesto previamente sobre el paramento, directamente o sobre rastreles. Puede ser necesario el tratamiento térmico específico de los puentes térmicos existentes en los encuentros entre los muros transversales a fachada y la fachada. Una vez diseñada la solución de refuerzo térmico, es recomendable una verificación de la posibilidad de condensaciones intersticiales. Existen numerosos materiales de aislamiento térmico, desde los más utilizados tradicionalmente, como los poliestirenos, poliuretanos o lanas minerales, a los nuevos materiales de origen orgánico, como los materiales aislantes conseguidos a partir de fibras vegetales o animales. En cada caso, se deberán estudiar sus propiedades y su adecuación a la solución de conjunto, para un comportamiento óptimo.

En los huecos, la intervención más frecuente es el cambio del acristalamiento simple por un doble acristalamiento, que puede reducir la transmitancia térmica hasta valores superiores al 100 % si se dispone un doble acristalamiento con vidrios ATR o de baja emisividad. También es recomendable la disposición de elementos de protección solar que, a su vez, contribuyen a disminuir las pérdidas de calor como postigos exteriores o interiores ([figura 60-3](#)). Otros recursos a base de la colocación de dobles ventanas o lamas interpuestas en nuevas carpinterías son también de factible aplicación (ver [Anomalía 61](#)), si bien cabe tener presente el cambio de imagen que pueden reportar cuando al edificio se le asignan valores patrimoniales.

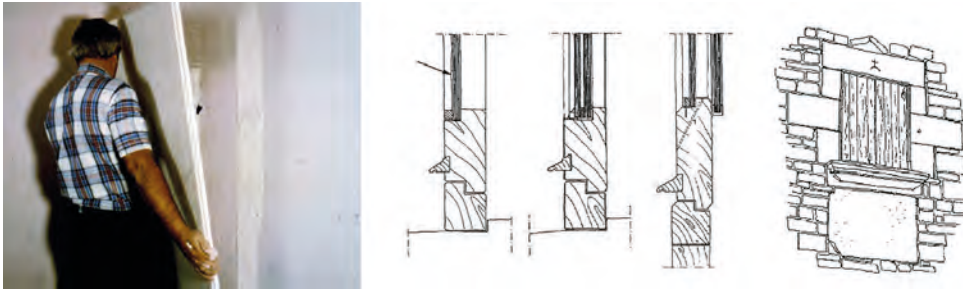


Fig. 60.3. Ejemplos de disposición de doblajes interiores en las partes opacas del cerramiento, doble acristalamiento en los huecos y postigos exteriores.

El refuerzo de aislamiento térmico en las cubiertas inclinadas de teja, las más usuales en la construcción tradicional aquí considerada, suelen comportar, como se ha expuesto en la [Anomalía 53](#), una intervención de sustitución de prácticamente la totalidad de sus elementos (base y piezas de cobertura) con excepción de los estructurales en el mejor de los casos. Para la nueva cubierta, la elección recae generalmente en materiales secos, de más fácil colocación en obra, y de poco peso, con el fin de no aumentar la carga anterior, tales como tableros aglomerados, cartón yeso, etc., disponiendo las piezas de teja cerámica o pizarra sobre el material específico de aislamiento térmico, fijándolas con morteros especiales o rastreles de canto variable e intercalando una lámina de estanqueidad por encima o por debajo del aislamiento, según el caso (Fig. 60-4). La disposición del nuevo material de aislamiento por el interior de la cubierta existente, por debajo o al nivel de las viguetas, puede resultar conveniente cuando la cubierta existente se halla en buen estado y no se generen nuevos puentes térmicos problemáticos.

La adición de materiales para el refuerzo del aislamiento térmico en las cubiertas planas sin cámara de aire se comenta en la [Anomalía 61](#) y la [Anomalía 52](#). En las cubiertas con cámara ventilada *a la catalana*, el nuevo material de aislamiento debe disponerse por el interior de la cámara, lo que obliga a sustituir, de hecho, toda la antigua cubierta, o a disponerlo debajo del forjado, por el interior del recinto de la última planta.

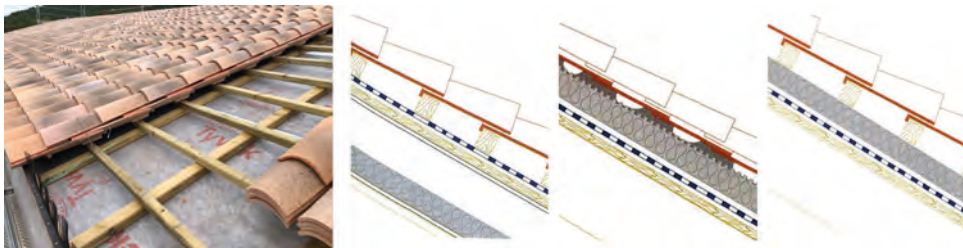


Fig. 60.4. Soluciones de disposición del material de aislamiento térmico en cubiertas inclinadas: a) Cubierta de tejas enrastreladas con previsión de circulación de aire entre rastreles, bajo las tejas y encima de la estanqueidad y las placas de aislamiento térmico; b) Cubierta de tejas enrastreladas sobre tablero en recinto habitable con incorporación del aislamiento térmico bajo las viguetas; c) Cubierta de tejas amorteradas con incorporación de placas aislantes sobre tablero; d) Cubierta de tejas enrastreladas con previsión de ventilación inferior e incorporación de placas aislantes. En todos los casos se intercala la lámina de estanqueidad por encima del tablero o del material aislante.



Si bien en los párrafos anteriores se ha incidido en las medidas de reducción de la demanda energética, la reducción de consumos requiere también de la mejora de la eficiencia y del rendimiento de las instalaciones, así como de la introducción de sistemas de captación que permitan cubrir parte del consumo de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y electricidad. Asimismo, es preciso aprovechar los recursos disponibles en el entorno potenciando la conservación, el refuerzo y la posible introducción de sistemas pasivos de aprovechamiento y ganancia energética (inercia térmica, radiación solar, ventilación, etc.).

Finalmente, desde la perspectiva de la ecoeficiencia y la sostenibilidad cabe valorar, más allá la reducción de la demanda y del consumo de energía en uso del edificio, el consumo energético debido a la intervención: teniendo en cuenta el consumo de materiales, su huella ecológica y su ciclo de vida, es decir, el consumo energético en la extracción, manufactura, transporte y mantenimiento de los materiales, el consumo de agua, la generación de residuos, la toxicidad ambiental y la generación de CO₂.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (2008). *Guía de rehabilitación energética de edificios de vivienda*. ANDIMA, Comunidad de Madrid (cap. 2, 3, 4, 5, pp. 26-182).

CTE-DB-HE (2019). *Guía de aplicación DB HE 2019*. Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España (cap. HE0 y HE1, pp. 14-31).

DOI: <https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/PDFS_RENART/R29873.pdf> [en línea] [Consulta: 5 abril 2021]

GONZÁLEZ DE LA PEÑA, P. (2007). *Manual práctico del DB HE 1 'Limitación de la demanda energética'* Ediciones Experiencia (cap. 1-5, pp. 1-11; cap. 9, pp. 46-66).

INSTITUT CERDÀ (2010). *Guia de la renovació energètica d'edificis d'habitatges. Envolupant tèrmica i instal·lacions*. Secretaria d'Habitatge, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya (cap. 4, pp. 69-95; cap. 6, pp. 127-149).

RIPOLL, R. (2005). "Tècnica constructiva". *La Masia catalana*. Brau ed., Figueres (cap. 4, pp. 89-111).

SOLÉ, J. (2007). *Aislamiento térmico en la edificación. Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética*. Colegio Oficial de Aparejadores Tarragona (cap. 1-7, pp. 1-68).



Anomalía 61

Excesiva demanda energética en edificios construidos con técnicas modernas

Los edificios modernos, construidos aproximadamente entre 1950 y 1980, precisan en su mayor parte de intervenciones para limitar su demanda energética y mejorar sus prestaciones de confort térmico. La excesiva demanda energética es una de las principales razones de su obsolescencia frente a unas exigencias cada vez más altas que, recogidas por la normativa actual, sobrepasan en mucho las exigidas en la época en que se construyeron.

Entre las soluciones más habituales de cerramientos verticales se hallan las fachadas de fábrica de ladrillo hueco, perforado o macizo de media asta, cámara de aire (con o sin material específico de aislamiento térmico), y tabique de ladrillo hueco de 4 cm; también se hallan los muros de bloques macizos o alveolados de hormigón de 15 o 20 cm de una sola hoja, además de las soluciones de paneles de hormigón armado prefabricados, solo aplicados en algunos grandes conjuntos residenciales (fig. 61-1). En las paredes medianeras se hallan soluciones de tabique pluvial, con una hoja interior de ladrillo macizo o perforado de media asta, cámara de aire ligeramente ventilada y una hoja exterior de tabique cerámico, sistema que anticipa las futuras soluciones de fachada pero sin incorporar material específico de aislamiento térmico. Los patios de luces se cierran habitualmente con paredes de ladrillo de media asta.

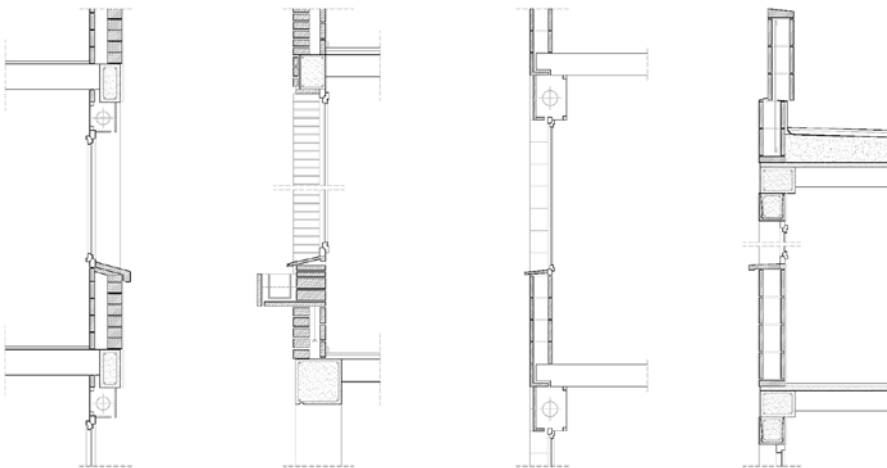


Fig. 61.1. Secciones constructivas típicas de muros de ladrillo y bloque de hormigón. Pueden observarse los puentes térmicos más habituales. En la sección de la derecha se puede visualizar también la sección típica de las cubiertas planas de la época.



Con anterioridad a los edificios construidos a partir de 1979, año de la aparición de la Norma NTE-CT-79, la transmitancia térmica asignable a estos tipos de cerramiento en el mejor de los casos no era inferior a los $1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, excepto en los escasos cerramientos con material específico de aislamiento incorporado, en los cuales puede alcanzar los $0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$, valores todos ellos superiores a los exigidos por las actuales normativas de limitación de la demanda energética de los edificios en cualquier de las zonas climáticas establecidas en España. Cabe tener presente, por otra parte, que en comparación con las técnicas tradicionales de muros gruesos, algunas de estas soluciones constructivas modernas dan lugar a un mayor número de puentes térmicos, originados por la interrupción de las cámaras en los recercados de los huecos o en los encuentros con los forjados, losas de terrazas y otros cuerpos salientes, dando lugar a valores aún mayores que los anteriores de transmitancia térmica en dichas zonas (fig. 61-2).



Fig. 61.2. Imagen termográfica que muestra, en amarillo, los puentes térmicos y las zonas con mayores pérdidas de calor del interior.

Por lo que se refiere a las carpinterías de los huecos acristalados, cada vez tuvieron un uso más marginal las tradicionales carpinterías de madera, pasando a ser las carpinterías de acero o aluminio las más comunes. De todas formas, no varió la disposición de vidrios simples en las ventanas, de una elevada transmitancia térmica como ya se ha expuesto en la [Anomalía 60](#), cuyo valor oscilaba alrededor de los $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cabe tener presente que, en un edificio residencial situado entre medianeras, los porcentajes más importantes de pérdidas energéticas son atribuibles a los huecos (40 - 50 %), seguidos por las partes opacas de la fachada (20 - 30 %) y, en menor medida, las cubiertas (10 - 20 %).

La cubierta utilizada de forma masiva durante toda la época en los edificios residenciales urbanos fue la cubierta plana multicapa, dispuesta directamente sobre el último forjado y conformada por un grueso de hormigón celular de unos 15 a 30 cm, una lámina de estanqueidad y una gravilla de cubrición o un pavimento cerámico si se preveía transitable (fig. 60-1, sección derecha). La cubierta plana a la catalana, con cámara de aire ventilada, pasó a tener un uso marginal y la cubierta inclinada, solución preferente en la construcción tradicional, pasó a disponerse sobre un forjado plano soportada por tabiquillos o bien sobre un forjado inclinado, con las tejas u otro material de cobertura colocadas sobre dicho forjado, sin interponer ningún material específico de aislamiento térmico. En todas estas soluciones, con anterioridad a la aparición de la Norma NTE-CT-79 ya citada, la transmitancia térmica no solía ser inferior a $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, siendo la exigencia actual no mayor de $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$, sea cual sea la zona climática donde se halle.



Pautas para la intervención

Atendiendo a las exigencias de las normativas actuales de reducción de la demanda energética, suele ser preciso en gran parte de los edificios del parque residencial edificado actual, en especial del construido con anterioridad a la década de los años 80 del pasado siglo, incrementar en grado considerable el nivel de aislamiento térmico de los elementos de su envolvente exterior. El incremento necesario para cumplir con estas exigencias es, en general, muy superior al estrictamente preciso para prever la formación de humedades de condensación en su paramento interior, si bien, como se ha expuesto en la [Anomalía 44](#), ello depende también del grado de ventilación de las estancias.

Por lo que se refiere a las zonas opacas de los muros exteriores, existen muchos procedimientos para reducir su transmitancia térmica hasta los límites exigidos, distinguiéndose fundamentalmente por la posición del nuevo material de aislamiento, que puede colocarse por delante del paramento interior, introduciéndolo en el interior de la cámara de aire si la tiene, o por delante del paramento exterior del edificio (ver [Anomalía 44](#)).

De hecho, cualquiera de los tres procedimientos es válido para conseguir el objetivo de reducción de la demanda energética de los edificios. La elección dependerá de circunstancias muy diversas. Como se ha expuesto al comentar las pautas de intervención de la [Anomalía 60](#), en los edificios tradicionales la elección recae mayoritariamente, aunque no de forma exclusiva, en la disposición de aislamiento térmico por el interior siguiendo algunos de los procedimientos expuestos en la citada Anomalía. En los edificios cuyos cerramientos disponen de cámara de aire, el material puede introducirse en el interior de la cámara, generalmente inyectando por el exterior o el interior del edificio una espuma de consistencia semirrígida que endurece al poco tiempo de su puesta en obra ([fig. 61-3](#)). De forma análoga a los sistemas aplicados por el interior del cerramiento, no eliminan tampoco los puentes térmicos si bien evitan las operaciones desde el interior del edificio, no reducen la superficie útil y suelen ser más económicos que los sistemas aplicados por el exterior.

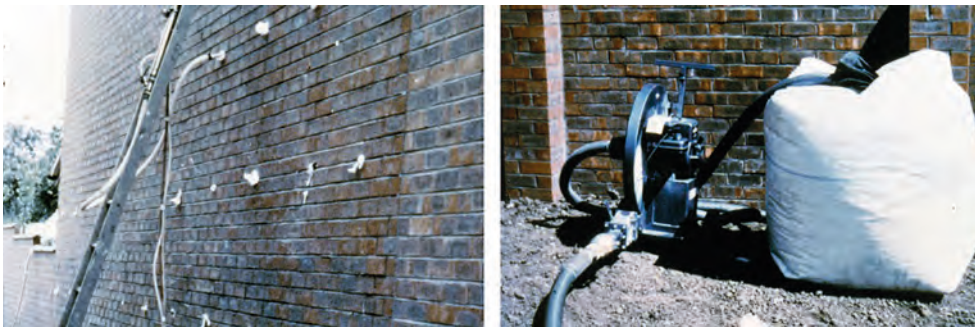


Fig. 61.3. Proceso de inyección por el exterior de la espuma semirrígida al interior de la cámara de aire. En la foto derecha, saco contenedor de la espuma y grupo de bombeo del material.

Los sistemas de refuerzo de aislamiento térmico por el exterior del edificio son los más aplicados en edificios residenciales urbanos cuando se realizan operaciones que abarcan un número considerable de viviendas y se requiere que la actuación se

efectúe sin interferir su uso cotidiano. Por otra parte, son los que mejor se adaptan a las intervenciones completas de rehabilitación de las fachadas, puesto que anulan los puentes térmicos de la solución original, aumentan la inercia térmica global del cerramiento, restablecen sus condiciones de estanqueidad y mejoran su imagen. Los inconvenientes más remarcables son las operaciones complementarias que habitualmente se requieren para la recolocación de los elementos y conductos de las instalaciones y la escasa resistencia al impacto de los materiales de aislamiento más usuales, lo cual aconseja elegir materiales de mayor dureza, aunque de conductancia térmica más elevada, en los lugares más accesibles de las fachadas y, en especial, en las plantas bajas.

Los tipos, formas, sistemas y materiales de los refuerzos de aislamiento por el exterior son numerosos. Los sistemas denominados SATE (acrónimo de sistemas de aislamiento térmico por el exterior) suelen consistir en placas rígidas de material aislante fijadas mecánicamente sobre los muros, revestidas de un complejo formado por mortero cola, malla de poliéster y recubrimiento de acabado. La correcta disposición del sistema requiere un seguimiento estricto de la resolución de los puntos singulares en las esquinas, remates y aristas con perfilería metálica adecuada (fig. 61-4).

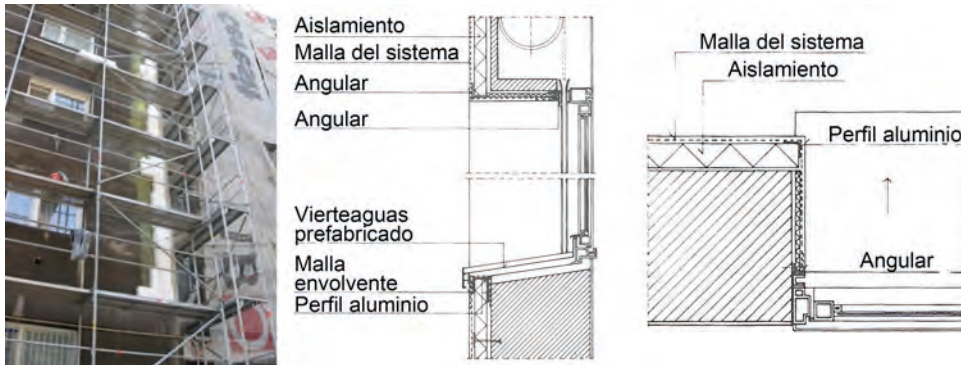


Fig. 61.4. Imágenes de uno de los denominados sistemas SATE. En la foto, una fase de la puesta en obra de las placas de material aislante. En los gráficos, detalles de su aplicación en un edificio, en los que se perciben los diversos elementos que lo componen, incluyendo los perfiles especiales en las aristas y entregas de las placas de aislamiento.

Como se ha expuesto anteriormente, en las plantas bajas y otros lugares susceptibles de recibir impactos es recomendable aplicar otros materiales o sistemas de mayor densidad, más duros, generalmente a base de morteros especiales aplicados con llana o de placas aislantes resistentes al punzonamiento. Precisamente son los sistemas a base de morteros aislantes, mallas de poliéster y fijaciones especiales al soporte los más usados en las fachadas cuando la exigencia de aumento de aislamiento térmico es menos elevada o cuando su geometría compleja desaconseja otro tipo de soluciones. Otra de las posibilidades es la proyección de espuma del material aislante. Cabe tener presente, de todas formas, que este último sistema, si bien es muy rápido en su puesta en obra, requiere de una ejecución muy cuidada para conseguir un nivel de planeidad suficiente (fig. 61-5).



Fig. 61.5. En el esquema de la izquierda, sucesión de capas de un revestimiento colocado a la llana con armadura de poliéster interpuesta y fijaciones mecánicas. En la foto del centro, ejemplo de disposición de placas aislantes de densidad suficiente para prevenir su punzonamiento. En la foto de la derecha, puesta en obra de un revestimiento aislante proyectado.

Finalmente, se puede optar por el cambio del tipo de fachada transformándola en una fachada ventilada, es decir, disponiendo un nuevo doblaje exterior con la previa incorporación de un material de aislamiento por delante de la fachada original. Con ello es factible un cambio total de imagen. Los materiales de doblaje pueden ser resinas termoendurecidas, chapa metálica, piedra, piezas cerámicas, etc. (fig. 61-6).



Fig. 61.6. En el gráfico de la izquierda, esquema del montaje de la colocación del nuevo material de aislamiento térmico y de las placas de doblaje. En la foto central, momento de la ejecución de la solución de doblaje en una fachada. En la foto derecha, ejemplo de transformación de las fachadas existentes en un grupo residencial por fachadas ventiladas con disposición de un nuevo doblaje exterior de chapa metálica.

En el caso de los huecos, la principal intervención es la sustitución completa de la ventana (carpinterías y acristalamiento) por carpinterías que incorporen sistemas con rotura de puente térmico y con doble acristalamiento, con lo cual se reduce prácticamente a la mitad su transmitancia térmica. La disposición de una ventana adicional por el exterior (doblaje de la ventana), dotada de doble acristalamiento, es un recurso de efecto muy potente que suma una importante aportación paralela de aislamiento acústico, y que anticipa los sistemas de aprovechamiento del efecto invernadero mediante la generación de espacios intermedios que pueden llegar a constituir espacios de estar. La interposición de lamas para el control solar incorporadas a la nueva carpintería o entre las dos ventanas es un recurso adicional que optimiza sus prestaciones de uso (fig. 61-7).



Fig. 61.7. Ejemplos de carpintería con doble acristalamiento y lamas de control solar interpuestas (gráfico de la izquierda) y de doble ventana (foto de la derecha).

Las formas de incrementar el aislamiento térmico en las cubiertas inclinadas se comentan en la [Anomalía 60](#), en la que se hace alusión a las técnicas tradicionales. En las cubiertas planas, la solución más habitual suele ser la superposición o la disposición por encima del hormigón ligero original, o del sustituido, de una nueva lámina de estanqueidad si se halla en mal estado y del material de refuerzo de aislamiento térmico en forma de placas rígidas, protegidas de los rayos ultravioletas con gravilla o con un nuevo pavimento cerámico sobre una capa de mortero armada ([fig. 61-8](#)). En la [fig. 52-6](#) de la [Anomalía 52](#) se incluye también un ejemplo de disposición de aislamiento térmico en una cubierta plana transformada en cubierta inclinada de teja, que constituye otra de las formas posibles de intervención.

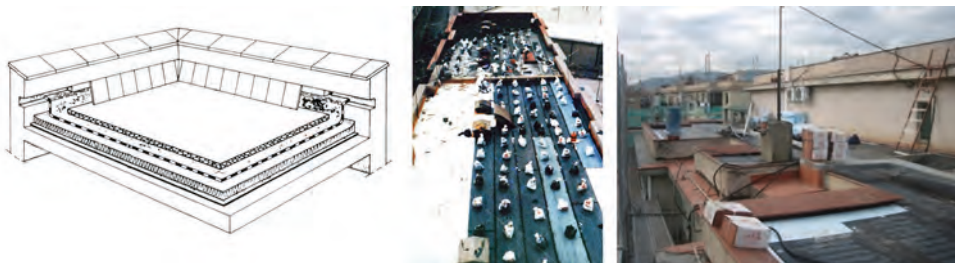


Fig. 61.8. Refuerzo de aislamiento térmico en cubiertas planas disponiendo nueva lámina de estanqueidad y placas de material aislante.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (2008). *Guía de rehabilitación energética de edificios de vivienda*. ANDIMA, Comunidad de Madrid (cap. 2, 3, 4, 5, pp. 26-182).

CTE-DB-HE. *Guía de aplicación DB HE 2019*. Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España (cap. HE0 y HE1, pp. 14-31).



DOI: <https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/PDFS_RENART/R29873.pdf> [en línia] [Consulta: 5 abril 2021]

GENERALITAT DE CATALUNYA (1992). *Manual d'aplicació de revestiments prims per l'exterior*. ADIGSA.

GONZÁLEZ DE LA PEÑA, P. (2007). *Manual práctico del DB HE 1. Limitación de la demanda energética*. Ediciones Experiencia (cap. 1-5, pp. 1-11; cap. 9, pp. 46-66).

INSTITUT CERDÀ (2010). *Guia de la renovació energètica d'edificis d'habitatges. Envolupant tèrmica i instal·lacions*. Ed. Secretaria d'Habitatge, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya (cap. 4, pp. 69-95; cap. 6, pp. 127-149).

SOLÉ, J. (2007). *Aislamiento térmico en la edificación. Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona (cap. 1-7, pp. 1-68).



Anomalía 62

Carencia en el aislamiento acústico del ruido exterior

El aumento de las exigencias normativas de confort acústico en las últimas décadas responde a un aumento general del confort y eficiencia energética que se requiere a los edificios, en paralelo a un aumento de los estándares en la población. Cabe mencionar que, en España, la incorporación de requisitos acústicos en la normativa aplicable a la edificación se realizó de forma tardía en comparación con otros aspectos de la edificación, siendo la primera normativa en esta línea la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-82, de 1982. En consecuencia, gran parte del parque edificado existente se construyó sin necesidad de satisfacer exigencias concretas y obligadas de tipo acústico. Este contexto se traduce en una necesidad de revisar y actualizar el comportamiento de los cerramientos de los edificios frente a varias exigencias, una de ellas el comportamiento frente al ruido exterior. Este hecho se hace especialmente importante en edificios en entornos urbanos, donde la presencia de ruido exterior puede ser importante y los niveles de inmisión acústica, altos.

Se debe diferenciar el comportamiento acústico de los edificios construidos con técnicas constructivas históricas de los construidos con técnicas constructivas propias del siglo xx. Los primeros son cerramientos gruesos y, por tanto, pesados, a los que se les puede atribuir un comportamiento acústico regido por la ley de masas, es decir, que existe una proporcionalidad entre el peso de la pared y su capacidad de transmitir el ruido aéreo. Además, en este tipo de edificios cabe destacar la inexistencia de puentes acústicos con el exterior al no existir interrupciones del muro de fachada con los forjados. En cambio, los edificios construidos con técnicas constructivas propias del siglo xx constan de fachadas mucho más ligeras que, muy a menudo, quedan interrumpidas a nivel de forjado. Se trata, pues, de cerramientos construidos a base de varias capas, *a priori* sin una voluntad de aislamiento acústico.

Las características de los muros construidos con técnicas antiguas hacen que estos suelen satisfacer correctamente los requisitos de aislamiento acústico al ruido aéreo, como mínimo a nivel de partes opacas. En el caso de los edificios construidos a partir de la segunda mitad del siglo xx, aquellos que dispongan de cerramientos ligeros y delgados pueden tener un comportamiento más deficiente que los anteriores. Sin embargo, independientemente del tipo de cerramiento en la parte opaca de la fachada, se debe prestar especial atención a la parte vidriada de la fachada. Son las ventanas las que suponen los puntos de más transmisión de ruido exterior hacia el interior; las ventanas existentes que no garantizan una correcta estanqueidad al aire, ni en su carpintería ni en las uniones con el muro de fachada, y que, si además están provistas de vidrio simple, son un punto débil de cara a la inmisión sonora.



Cabe decir que, en el caso de la transmisión del ruido aéreo, se deben tener en cuenta también las transmisiones indirectas, también denominadas *por los flancos*, tales como la transmisión por los encuentros entre diferentes elementos constructivos, por aquellos puntos débiles que se puedan considerar puentes acústicos, por los pasos de instalaciones, etc.

Pautas para la intervención

El tipo de intervención necesaria irá en función del nivel de ruido exterior ya que, en función de este, se requerirán unas prestaciones más o menos exigentes a los cerramientos exteriores para poder garantizar unos niveles de ruido interior adecuados.

Primeramente, se debe contemplar una mejora de las ventanas y carpinterías del edificio. Las mejoras pueden ir desde la sustitución de los vidrios simples de las ventanas por vidrios dobles, de mejor comportamiento acústico, a la sustitución de vidrios y carpinterías, y, en casos más extremos de ruido exterior, a la colocación de ventanas dobles (fig. 62-1).

En el caso de ser necesaria una intervención en las partes opacas de la fachada, estas suelen ir encaminadas a la incorporación de trasdosados interiores que convierten al cerramiento existente en un cerramiento multicapa. Los trasdosados por el interior suelen incorporar un material aislante acústico tipo lana de roca o lana de fibra de vidrio, que queda interpuesto entre el cerramiento original y una o dos capas de yeso laminar. El conjunto actúa alternando cerramientos pesados, como el original y el yeso laminar, con una capa, la del aislante acústico, que atenuará la vibración transformándola en la energía requerida para su deformación elástica. Es importante el diseño de la solución constructiva del nuevo trasdosado, evitando puentes acústicos para minimizar la transmisión de ruido aéreo y de impacto a través de ellos, y de los contactos con los elementos constructivos existentes (fig. 62-1).

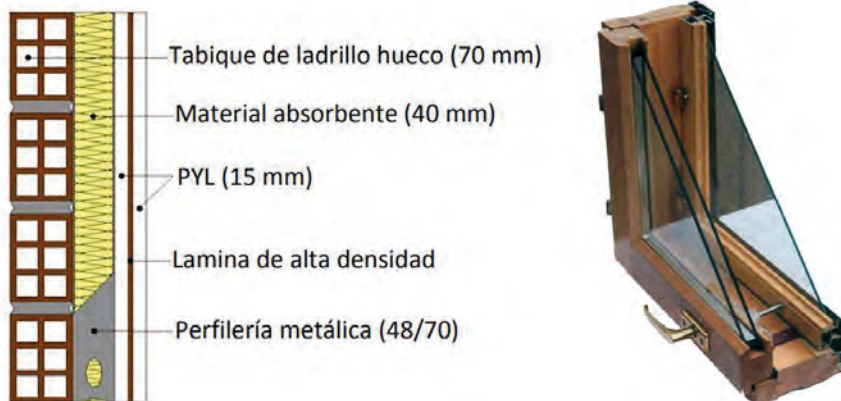


Fig. 62.1. Soluciones de aislamiento acústico: trasdosado mediante placa de yeso laminado (izquierda) y doble ventana con vidrio doble (derecha).



Complemento bibliográfico

AA. VV. (2011). *Rehabilitación Acústica en la Edificación. Soluciones y casos prácticos* [en línea]. Seminario Satélite al Congreso TECNIACÚSTICA 2011, Cáceres. <<https://www.codigotecnico.org/Guias/RehabAcustica.html>> [en línea][Consulta: 5 abril 2021].

AITIM (2019). "Comportamiento acústico de las ventanas de madera" [en línea]. *Revista AITIM*, núm. 319. <<https://infomadera.net/modulos/publicaciones.php?id=326&claseact=publicaciones>> [en línea] [Consulta: 5 abril 2021].

ARAU, I. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. Grupo Planeta GBS.

CARRASCAL GARCÍA, M. T., ROMERO FERNÁNDEZ, A. (2005) "Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio" [en línea]. I Jornadas de Investigación en Construcción (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, 2-4 junio 2005). Actas de las Jornadas (T. II, pp. 1093-1103). <<http://hdl.handle.net/10261/5847>> [en línea] [Consulta: 5 abril 2021].

CTE (Código Técnico de la Edificación) (2016). *Guía de aplicación del DR-HR Protección frente al ruido*. Versión V.03. Diciembre.

DAUMAL, F. (2001). *Disseny i rehabilitació acústica dels espais interiors*. Escola Sert, Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.

DÍAZ SANCHIDRIÁN, C. (2007). *Las fachadas y su protección frente al ruido*. Instituto Juan de Herrera, Madrid.

SASTRE, R. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción* [en línea]. Ed. UPC (cap. 8. pp. 112-123). <<http://hdl.handle.net/2099.3/36874>> [en línea] [Consulta: 5 abril 2021].



Anomalia 63

Carencia en el aislamiento acústico del ruido interior

Como ya se ha mencionado en la explicación de la [Anomalia 62](#), dedicada a las carencias de aislamiento frente al ruido exterior, hoy día las exigencias de tipo acústico en edificación responden a unos estándares de calidad más altos que años atrás. Uno de los aspectos que contribuye al confort interior es el correcto aislamiento acústico entre viviendas y entre estancias en la misma vivienda. Por lo general, se trata de falta de aislamiento acústico en las paredes de cerramiento que separan entidades o unidades de uso distintas, que requieren de unas prestaciones de aislamiento acústico suficientes como para garantizar la privacidad entre espacios. Las particiones que suelen presentar deficiencias son aquellas construidas con anterioridad a la aplicación de ninguna normativa acústica como, por ejemplo, separaciones construidas con una única hoja cerámica, ya sea de ladrillo hueco, de ladrillo macizo (grosor de 4 cm) o de otras soluciones de cerramiento tipo tabique de escayola.

La anomalía, en este caso, consiste en la incapacidad del cerramiento para garantizar un aislamiento acústico entre estancias adecuado. Se tratará, pues, tanto de aislamiento acústico al ruido aéreo como de aislamiento acústico al ruido de impacto. Cabe decir que, en el caso de la transmisión del ruido aéreo, se deben tener en cuenta también las transmisiones indirectas, también denominadas *por los flancos*, tales como la transmisión por los encuentros entre diferentes elementos constructivos, por aquellos puntos débiles que se puedan considerar puentes acústicos, por los pasos de instalaciones, etc. ([fig. 63-1](#)).

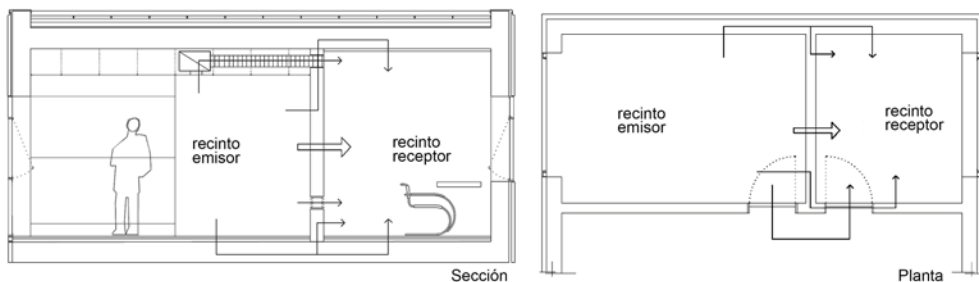


Fig. 63.1. Transmisión directa del ruido aéreo en el interior y a través de los flancos.



Pautas para la intervención

El tipo de intervención sugerida, en este caso, variará dependiendo del alcance de las obras de rehabilitación que se estén llevando a cabo. Si la remodelación interior contempla una redistribución de los espacios dentro de una vivienda o unidad de uso, y la deficiencia de aislamiento acústico que se requiere solventar se halla entre los espacios de la misma, se recomendará la ejecución de los nuevos tabiques de cerramiento con una solución constructiva diferente a la original que contemple una tabiquería multicapa, con aislamiento acústico en su interior y con bandas elásticas en los encuentros inferiores. En cambio, si la anomalía se encuentra en la falta de aislamiento acústico con las viviendas adyacentes, se recomendará una solución de aislamiento acústico como si esta se tratase de un cerramiento exterior. Es decir, una solución de trasdosado por el interior de la vivienda que incorpore un material aislante acústico, como lana de roca o lana de fibra de vidrio, interpuesto entre el cerramiento original y una o dos capas de yeso laminar. Además, se deberá tener presente la reubicación de pasos de instalaciones y el diseño y ejecución del trasdosado para minimizar puentes acústicos, y la transmisión de vibración por los flancos y al ruido de impacto.

Complemento bibliográfico

AA. VV. (2011). *Rehabilitación Acústica en la Edificación. Soluciones y casos prácticos* [en línea]. Seminario Satélite al Congreso TECNIACÚSTICA 2011 Cáceres. <<https://www.codigotecnico.org/Guias/RehabAcustica.html>> [en línea] [Consulta: 8 abril 2021].

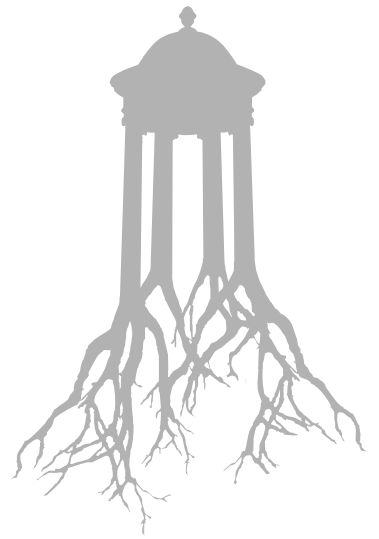
ARAU, I. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. Grupo Planeta GBS.

CARRASCAL GARCÍA, M. T.; ROMERO FERNÁNDEZ, A. (2005). "Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio" [en línea]. *I Jornadas de Investigación en Construcción* (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, 2-4 junio 2005). Actas de las Jornadas (T. II, pp. 1093-1103). <<http://hdl.handle.net/10261/5847>> [en línea] [Consulta: 8 abril 2021].

CTE (Código Técnico de la Edificación) (2016). *Guía de aplicación del DR-HR Protección frente al ruido*. Versión V.03. Diciembre.

DAUMAL, F. (2001). *Disseny i rehabilitació acústica dels espais interiors*. Escola Sert, Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.

SASTRE, R (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción*. Ed. UPC (cap. 8. pp. 112-123). <<http://hdl.handle.net/2099.3/36874>> [en línea] [Consulta: 8 abril 2021].







FUENTES DE LA INFORMACIÓN GRÁFICA Y FOTOGRÁFICA

1. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros gruesos

Fig. 1-1 (a) (b) [MASTRODICASA] / (c) [CDG] El Vendrell

Fig. 1-2 (a) [MASTRODICASA] / (b) / [CDG] Ensanche, Barcelona

Fig. 1-3 (a) [MASTRODICASA] / (b)(c) [CDG] el Vendrell

Fig. 1-4 (a) (b) [MASTRODICASA]

Fig. 1-5 (a) [DTA-UPC] Casa en Yequeda, Huesca / (b) [DTA-UPC], Valle de Beotegui, País Vasco

Fig. 1-6 (a) [STEFANO] / (b) [DTA-UPC]

Fig. 1-7 (a) [CDG] Cuartel de la Remunta, l'Hospitalet de Llobregat / (b) [CDG] Sants, Barcelona / (c) [CDG] el Vendrell

Fig. 1-8 (a) [STEFANO] / (b)(c) Catálogo MAPEI

2. Abombamientos y desplomes progresivos en muros gruesos de fachada de edificios antiguos

Fig. 2-1 (a)(b)(c) [MASTRODICASA]

Fig. 2-2 (a) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona / (b) [INSPECCIÓN] / (c) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona

Fig. 2.3 (a) [CDG] Sallent / (b) [CDG], Girona / (c) [CDG] Calafell

Fig. 2.4 (a) [MASTRODICASA] / (b) [CDG] Marsella / (c) [CDG] Casco antiguo, Mojácar

Fig. 2.5 (a) [CDG] Alacant / (b) [CDG] Caso urbano, Marsella

3. Pérdida de cohesión de la arcilla en muros afectados por el agua

Fig. 3-1 (a) [CDG] Procida, Italia / (b) [DTA-UPC] / (c) [CDG] Mérida, México

Fig. 3-2 (a) [CUENCA] / (b) [DTA-UPC] Vilanova i la Geltrú

4. Grietas y abombamientos debidos a las cargas verticales en muros de ladrillo de media asta

Fig. 4-1 (a)(b) [CDG] Mollet del Vallès

Fig. 4-2 (a)(b) Laboratorio de Materiales EPSEB, UPC

Fig. 4-3 (a) [CASSINELLO] / (b) [BUTI]

Fig. 4-4 (a) [CDG] Barrio SO Besòs, Barcelona / (b) Proyecto de restauración de la Casa Botines, León, J. L. González, A. Casals



5. Grietas y deformaciones debidas a las cargas verticales en jácenas y pórticos de hormigón armado

Fig. 5-1 (a)(b) [MONTROYA]

Fig. 5-2 (a) [MONTROYA] / (b) [ADDLESON] / [CDG] Laboratorio Universidad de Zúrich

Fig. 5-3 (a) [REGALADO-1]

Fig. 5-4 (a) [EMMONS] / (b) [CALAVERA]

Fig. 5-5 (a)(b)(c) [DTA-UPC]

Fig. 5-6 (a) (b) [LUZARDO] / (c) F. Regalado

Fig. 5-7 (a)(b)(c) Catálogo MAPEI

Fig. 5-8 (a)(b) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs

Fig. 5-9 (a) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona / (b) [MAS-GUINDAL] / (c) [VALÈNCIA] / (d) Catálogo MAPEI

6. Grietas en ménsulas cortas de hormigón armado debidas a las cargas verticales

Fig. 6.1 (a) [CALAVERA] / (b) COTCA, SA

Fig. 6.2 (a) [LUZARDO]

7. Grietas en el hormigón y hormigón armado de formación anterior a su endurecimiento

Fig. 7-1 (a) [APA-1]

Fig. 7-2 (a)(b) [REGALADO-1]

Fig. 7-3 (a) [APA-1] / (b)(c) COTCA, SA / d) [APA-1]

Fig. 7-4 (a)(b) [CONCRETE SOCIETY] / (c) [CDG]

8. Grietas de retracción en el hormigón y hormigón armado endurecidos

Fig. 8-1 (a) [APA-1]

Fig. 8-2 (a)(b) [CALAVERA] / (c) COTCA, SA

Fig. 8-3 (a) [DTA-UPC] / (b) [CANOVAS] / (c) [ADDLESON]

Fig. 8-4 (a) [REGALADO-1] / (b) [CDG] Las Vegas, EE. UU.

Fig. 8-5 (a)(b) [REGALADO-1]

Fig. 8-6 (a)(b) [CDG] Edificio Chinchilla, Albacete

9. Corrosión de las armaduras de acero en elementos resistentes de hormigón armado

Fig. 9-1 (a) [APA-1]

Fig. 9-2 (a)(b)(c) [DTA-UPC]

Fig. 9-3 (a)(b)(c) [CDG] Unité d'Habitation, Marsella

Fig. 9-4 (a)(b)(c) [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Sant Adrià de Besòs

Fig. 9-5 (a) Folleto de asistencia técnica para la reparación de corrosión de armadura

10. Corrosión de elementos resistentes en estructuras metálicas de acero

Fig. 10-1 (a)(b) [CDG] CAP Drassanes, el Raval, Barcelona



11. Grietas y abombamientos en pilares de piedra o ladrillo cerámico macizo debidos a las cargas verticales

Fig. 11-1 (a) [CYTED]

Fig. 11-2 (a) [CDG] Templo en Angkor, Siem-Riap, Camboya / (b) [CDG] Salerno, Italia / [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa

Fig. 11-3 (a) [CDG] Nápoles / [CDG] (b) Reus / (c) [CDG] Templo en Angkor, Siem-Riap, Camboya

Fig. 11-4 (a) [CDG] Madrid / (b)(c) [BOERI]

12. Grietas en dinteles de piedra o ladrillo debidas a las cargas verticales

Fig. 12-1 (a)(b) [CDG] Ermita de Talltendre

Fig. 12-2 (a) [VILLA] Iglesia Sant Felip Neri, Barcelona / (b) [VILLA] / (c) [CATERINA]

Fig. 12-3 (a) [CDG] el Vendrell

Fig. 12-4 (a) web w-struc / (b) [PARICIO-2] / (c) web w-struc

Fig. 12-5 (a) [MARIANI] / (b)(c) [CDG] Pozzuoli, Italia

13. Pudrición de pilares, vigas y viguetas de madera

Fig. 13-1 (a) [ARIZAGA] / (b)(c) Blog ITM tratamiento de la madera

Fig. 13-2 (a) [CDG] Teatro Arnau, Barcelona / (b) [DTA-UPC]

Fig. 13-3 (a) [CDG] Arnes / (b) [ARRIAGA]

Fig. 13-4 (a) [MUNAFO] / (b) [ARRIAGA]

14. Ataque de los insectos xilófagos en pilares, vigas y viguetas de madera

Fig. 14-1 (a) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa / (b) [ARRIAGA]

Fig. 14-2 (a)(b) [DTA-UPC]

Fig. 14-3 (a) [ARRIAGA]

Fig. 14.4 (a)(b) Jesús Arribas

15. Grietas y deformaciones en forjados de viguetas de hormigón armado o pretensado debidas a las cargas verticales

Fig. 15-1 (a)(b) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs

Fig. 15-2 (a) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs / (b) [CDG] c. de Pàdua, Barcelona

Fig. 15-3 (a) web ARS Systems / (b)(c) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs

Fig. 15-4 (a)(b) Catálogo NOU-BAU

16. Grietas y deformaciones en forjados reticulares y losas macizas de hormigón armado debidas a las cargas verticales

Fig. 16-1 (a)(b) [REGALADO-2]

Fig. 16-2 (a)(b) [DTA-UPC] Proyecto de reparación del barrio Marina-Besòs, Barcelona

Fig. 16-3 (a)(b) [REGALADO-1] / (c) [CANOVAS]

Fig. 16-4 (a)(b)[DTA-UPC] Edificio escolar, Bilbao

Fig. 16-5 (a) [REGALADO-2] / (b) Edificio escolar, Bilbao



17. Grietas y deformaciones en forjados de cerámica armada debidas a las cargas verticales

- Fig. 17-1 (a)(b) Catálogo comercial TECFOR, S.A.(c) Catálogo comercial SET, SL
Fig. 17-2 (a)(b)(c) [DTA-UPC]
Fig. 17-3 (a)(b)(c)(d) Informe F. Calbet, R. Elias, Edificio escolar, barrio de Sant Cosme, el Prat de Llobregat
Fig. 17-4 (a)(b)(c) Informe F. Calbet, R. Elias, Edificio escolar, barrio de Sant Cosme, el Prat de Llobregat

18. Grietas y deformaciones en vigas y forjados con viguetas de madera debidas a las cargas verticales

- Fig. 18-1 (a)(b) [CDG] Hacienda en Yucatán, México / (c)(d) [CDG] el Vendrell
Fig. 18-2 (a) [DTA-UPC] M. Urbiola, Masia Can Serra, Sant Adrià de Besòs / (b) [CDG] el Vendrell
Fig. 18-3 (a) P. Giol, Edificio industrial la Sedeta, Barcelona / (b) CDG] el Vendrell
Fig. 18-4 (a)(b) [CDG] Museu dels Sants, Olot
Fig. 18-5 (a) [MUNAFO] / (b) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa
Fig. 18-6 (a)(b) Catálogo NOU-BAU / (c) [ARRIAGA]
Fig. 18-7 (a) P. J. Ravetllat, el Raval, Barcelona / (b) [BOERI] / (c) [ROCCHI-2] / (d) [STEFANO]
Fig. 18-8 (a) [STEFANO] / (b) [CDG] Edificio hotelero, Bellver de Cerdanya / (c)(d) [CDG] Centro Histórico, Mérida, Yucatán, México / (e) M. Urbiola, Masia Can Serra, Sant Adrià de Besòs

19. Grietas y otros daños en tabiquerías y pavimentos originados por la flexión diferida de los forjados

- Fig. 19-1 (a)(b)(c) Monografía IETcc. Obras de fábrica, p.i.e.t. 70 (s.n.), 1970
Fig. 19-2 (a)[DTA-UPC] / (b) [CDG] Edificio Chinchilla, Albacete (c)[CDG] Valls
Fig. 19-3 (a) Monografía IETcc. Obras de fábrica, p.i.e.t. 70 (sin número), 1970 / (a) [CDG] Eixample, Barcelona (b) [CDG] Cartagena de Indias, Colombia
Fig. 19-4 (a) Estudio de pavimento cerámico, A. Marí, G. A. Pérez, UPC, 2003
Fig. 19-5 (a)(b) [CDG] Eixample, Barcelona
Fig. 19-6 (a) [CDG] Edificio Chinchilla, Albacete / (b) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs / (c) MAPEI, catálogo de productos

20. Grietas en techos entre bovedillas y viguetas del forjado

- Fig. 20-1 (a) [MUÑOZ-1] / (b) [APA-4]

21. Presencia de cemento aluminoso en viguetas y nervios de hormigón armado o pretensado de los forjados

- Fig. 21-1 (a)(b) [DTA-UPC] / (c) P. Santamaria, Barcelona
Fig. 21-2 (a)(b) [DTA-UPC] / [CDG] Valencia
Fig. 21-3 (a)(b)(c) DIT de las marcas BETTOGROUT y J3-F

22. Corrosión de las armaduras de acero en forjados de cerámica armada

- Fig. 22-1 (a) P. Santamaria, Barcelona / (b)(c) [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Barcelona
Fig. 22-2 [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Barcelona
Fig. 22-3 (a)(b) Proyecto de reparación, P. Santamaria, Barcelona



23. Rotura y desprendimiento de bovedillas en forjados de cerámica armada o de viguetas de hormigón o metálicas

- Fig. 23-1 (a) [CDG] / (b) [CDG] Hospital Joan XXIII, Tarragona
 Fig. 23-2 (a) [CDG] Valls / (b) [CDG] Barrio de la Mina, Sant Adrià de Besòs
 Fig. 23-3 (a) [CDG] Parking conjunto Roma-2000, Barcelona
 Fig. 23-4 (a)(b) [CDG] Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales UPC, Barcelona
 Fig. 23-5 (a)(b)(c) Libro catálogo MAPEI

24. Corrosión de los elementos resistentes metálicos en balcones, porches y galerías abiertas

- Fig. 24-1 (a) [CDG] Playa de La Concha, San Sebastián / (b) [CDG] Poble Nou, Barcelona
 Fig. 24-2 (a) [CDG] Eixample, Barcelona / (b) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona
 Fig. 24-3 (a) Foto J. L. Rodríguez / (b) [CDG] Eixample, Barcelona
 Fig. 24-4 (a) Gráficos J. L. Rodríguez
 Fig. 24-5 (a)(b)(c) Fotos J. L. Rodríguez, Gràcia, Barcelona
 Fig. 24-6 (a)(b) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona

25. Grietas y deformaciones en bóvedas y arcos de piedra o ladrillo

- Fig. 25-1 (a) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa / (b) [REV-2C]
 Fig. 25-2 (a)(b) [POBLE]
 Fig. 25-3 (a)(b)(c) [STEFANO]
 Fig. 25-4 (a) [VILLA] / (b) [VILLA] / (c)(d) [STEFANO]
 Fig. 25-5 (a) [CATERINA] / (b) [COLLADO] Seo de Lleida / (c) [VILLA]
 Fig. 25-6 (a) [CDG] Cardona / (b) [COLLADO]
 Fig. 25-7 (a) [RODRÍGUEZ] / (b)(c) M. Romaní, Roda de Berà
 Fig. 25-8 (a) [DTA-UPC] / (b) [STEFANO] / (c) [CDG]
 Fig. 25-9 (a) (b) [FRANCHINI] Complesso S. Agostino, Fossombrone, Italia / (c) [ROCCHI-1]
 Fig. 25-10 (a) [CDG] Nápoles

26. Grietas en las bóvedas cerámicas de escaleras

- Fig. 26-1(a)(b) [DTA-UPC] c. Escodines, Casco antiguo, Manresa
 Fig. 26-2 (a) [CDG], Ciutat Vella, Barcelona

27. Deterioros de las losas de piedra de los balcones y otros elementos volados

- Fig. 27-1 (a) [CDG], Eixample, Barcelona / (b) [CDG] Lisboa / (c) [DTA-UPC], Boltaña, Huesca
 Fig. 27-2 (a)(b) [CDG] Casa Thomas, Eixample, Barcelona
 Fig. 27-3 (a) [CDG] Villafranca del Bierzo, Castilla / (b) [CDG] Eixample, Barcelona

28. Grietas por movimientos de la cimentación en muros, tabiques, techos y pavimentos

- Fig. 28-1 (a)(b) Ficha OCE-COAC / (c) Informe técnico, Ministerio de Obras Públicas, el Papiol / d) [BELLMUNT]
 Fig. 28-2 (a) Ficha OCE-COAC / (b) Barrio de l'Estació, Sallent
 Fig. 28-3 (a)(b) Ficha OCE-COAC / (c) [BELLMUNT]
 Fig. 28-4 (a) [MAÑA] / (b) [RODRÍGUEZ]
 Fig. 28-5 (a)(b) Informe técnico, Ministerio de Obras Públicas, el Papiol / (c) [CDG] Tortosa



Fig. 28-6 (a) Catálogo FONDEDILE / (b)(c) [CERVELLÓ]

Fig. 28-7 Catálogo GEOSEC & Partners

Fig. 28-8 (a) [GARCÍA LÓPEZ]

29. Grietas por movimientos de la cimentación en pilares y jácenas de las estructuras porticadas de hormigón armado

Fig. 29-1 (a) Fichas OCE, COAC

Fig. 29-2 (b) Fichas OCE, COAC

30. Resistencia insuficiente de los edificios altos a las acciones del viento

Fig. 30-1 (a)(b)(c) [CDG] Polígono Canyelles, Barcelona

Fig. 30-2 (a) Foto revista *Hogar y Arquitectura*, Barrio de la Pau, Barcelona / (b) (c) [CDG] Barrio de la Pau, Barcelona

Fig. 30-3 (a)(b)(c) [CDG] Barrio de la Pau, Barcelona

31. Grietas y colapsos debidos a las acciones dinámicas

Fig. 31-1 (a) Trabajo de P. Murphy Corella / (b) [ALVAREZ] Lorca / (c) Patrich Murphy, terremoto en Alhucemas

Fig. 31-2 (a) (b) Al-Hoceima earthquake, report, Patrick. Murphy, 2004 /

Fig. 31-3 (a) [BINDA]

Fig. 31-4 (a)(b)(c) [ALVAREZ] Lorca

Fig. 31-5 (a)(b) [ALVAREZ] Lorca

Fig. 31-6 (a)(b)(c) [ALVAREZ] Lorca

Fig. 31-7 (a)(b)(c) Ponencia M. Mele, Congreso ASSIRCCO, 1980

32. Grietas y deformaciones debidas a los movimientos de dilatación y contracción térmica en los edificios

Fig. 32-1 (a) [CDG] Conjunto Roma-2000 / [CDG] Pisos Sala, Mollet del Vallès

Fig. 32-2 (a) (b) [CANOVAS]

Fig. 32-3 (a) [APA-1] / (b) [EMMONS]

Fig. 32-4 (a) [CDG] / (b) [DTA-UPC] Grupo Ausiàs March, Gavà / (c) [CDG] / d) [CDG] Zona industrial, Sant Just Desvern

Fig. 32-5 (a)(b) [DTA-UPC] Grupo Tres Torres, Granollers

Fig. 32-6 (a) [DTA-UPC] Proyecto reparación, Grupo tres Torres, Granollers

33. Humedades en muros y soleras de las plantas bajas por ascensión capilar del agua contenida en el terreno

Fig. 33-1 (a) [CDG] Venecia, Italia / (b) Marrakech, Marruecos / (c) [CDG] Parking Severo Ochoa, l'Hospitalet de Llobregat

Fig. 33-2 (a) [CDG] Eixample, Barcelona / (b)(c) [DTA-UPC]

Fig. 33-3 (a)(b) [CDG] / [APA-2]

Fig. 33-4 (a) [APA-2] / (b) [CDG] Cuartel de la Remunta, l'Hospitalet de Llobregat

Fig. 33-5 (a) [DUELL] / (b) [MUNDULA] COMER S.p.A.

Fig. 33-6 (a) Catálogo DEMSA / (b) [DUELL]

Fig. 33-7 (a)(b) [APA-2] / [CDG] Les Corts, Barcelona



34. Filtraciones de agua contenida en el terreno en muros de contención de sótanos

Fig. 34-1 (a)(b)(c) [CDG] Parking Severo Ochoa, l'Hospitalet de Llobregat

Fig. 34-2 (a)(b) [CDG]

Fig. 34-3 (a) [CDG] / (b.) Proyecto M. Feduchi, F. Bassó, Galerías Preciados, Valencia

35. Humedades e inundaciones en las cámaras sanitarias

Fig. 35-1 (a) Revista *Hogar y Arquitectura*

Fig. 35-2 (a) [CDG] Barrio S-O. Besòs, Barcelona / (b) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs, / (c) Informe F. Calbet, R. Elías, Edificio escolar, barrio de Sant Cosme, el Prat de Llobregat

Fig. 35-3 (a)(b)(c) [CDG] Barrio la Pau, Barcelona

Fig. 35-4 (a)(b) [SCARZELLA]

36. Grietas y abombamientos en fachadas de ladrillo visto apoyadas parcialmente en los forjados

Fig. 36-1 (a)(b)(c) [CDG] Edificio Chinchilla, Albacete / (d) [CDG] Zona Franca, Barcelona

Fig. 36-2 (a)(b)(c) Fotos F. Reig

Fig. 36-3 (a) [DTA-UPC] Grupo Tres Torres, Granollers / (b) [CDG] Cornellà de Llobregat

Fig. 36-4 (a)(b)(c) [CDG] Edificio Chinchilla, Albacete

Fig. 36-5 (a) [CDG] Zona Franca, Barcelona / (b) Foto F. Reig

Fig. 36-6 (a)(b) [DTA-UPC] Grupo Tres Torres, Granollers

37. Desprendimientos y grietas en los revestimientos continuos de cal o cemento portland de los cerramientos exteriores

Fig. 37-1 (a) [CDG] Nápoles / (b) [CDG] Ciutat Vella, Barcelona / (c) [DTA-UPC]

Fig. 37-2 (a)(b) [DTA-UPC]

Fig. 37-3 (a)(b) [DTA-UPC] / (c)(d) [APA-2]

38. Grietas de retracción en muros de albañilería con revestimiento continuo

Fig. 38-1 (a) Grupo Ausiàs March, Gavà / (b) [DTA-UPC] / (c) Casco urbano, Canet de Mar

Fig. 38-2 (a) [SHAUPP] / (b) [LOGEAS-1]

Fig. 38-3 (a) M. Jurnet, Cerdanyola del Vallès / (b) [MUÑOZ-2] / (c) Informe SECOTEC, Edificio Walden-7, Sant Just Desvern

39. Desprendimiento de los recubrimientos de losetas cerámicas en las fachadas

Fig. 39-1 (a) [CDG] Lisboa / (b) [CDG] Roma-2000, Eixample, Barcelona (c) [CDG] Centro urbano, Torino

Fig. 39-2 (a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h) Informe SECOTEC, edificio Walden 7, Sant Just Desvern

40. Desprendimiento de los recubrimientos de piedra natural o artificial en las fachadas

Fig. 40-1 (a) [CORTES][CDG]

Fig. 40-2 (a)(b) [CDG] el Vendrell / (c) Conjunto Roma-2000, Eixample, Barcelona / (d) [CDG] A Coruña



- Fig. 40-3 (a) [CDG] CAP Drassanes, el Raval, Barcelona / (b)[CDG] Subdelegación del Gobierno, Tarragona / (c) [CDG] Conjunto Roma-2000, Eixample, Barcelona
- Fig. 40-4 (a) [CORTES] / (b) [CDG] Biblioteca UPC, Pedralbes, Barcelona (c) [CDG] Ópera de la Bastille, París
- Fig. 40-5 (a)(b) [CDG] Villa Olímpica, Poble Nou, Barcelona
- Fig. 40-6 (a)(b) [CDG] Albacete / (c) [CDG] Conjunto Roma-2000, Eixample, Barcelona
- Fig. 40-7 (a)(b)(c) [CDG] Finlandia Hall, Helsinki
- Fig. 40-8 (a) [CDG] Juzgados, Palma de Mallorca / (b) [CDG] Edificio escolar, les Corts, Barcelona.
- Fig. 40-9 (a)(b)(c) [CDG] CAP Drassanes, el Raval, Barcelona

41. Desprendimiento de los materiales de recubrimientos en los cantos de los forjados

- Fig. 41-1 (a) Foto F. Reig / (b)(c) Foto F. Salcedo
- Fig. 41-2 (a) [CDG] Villa Olímpica, Torino / (b) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs / (c) [CDG] Sant Gervasi, Barcelona
- Fig. 41-3 (a) [CDG] Sant Just Desvern / (b) [DTA-UPC] Conjunto les Cotxeres, Sarrià, Barcelona / (c) [DTA-UPC] Barrio Marina-Besòs, Sant Adrià de Besòs
- Fig. 41-4 (a) [CDG] Cotxeres de Sarrià, Barcelona / (b) [DTA-UPC]
- Fig. 41-5 (a)(b)(c)(d) Gráficos y fotos de X. Oliva, barrio Mariba-Besòs, Sant Adrià del Besòs
- Fig. 41-6 (a) Proyecto reparación de C. Díaz, X. Montsalvatge, Conjunto Les Cotxeres de Sarrià, Barcelona / (b)(c) Fotos X. Oliva, Conjunto Les Cotxeres de Sarrià, Barcelona

42. Grietas en las fachadas debidas al choque térmico

- Fig. 42-1 (a) [CDG] Varsovia, Polonia (b) [CDG] Shangai / (c) [LOGEAI-1]

43. Desprendimientos provenientes de barandillas, aleros y otros elementos de las fachadas

- Fig. 43-1 (a) [DTA-UPC] / (b) [CDG] Mollet del Vallès
- Fig. 43-2 (a)(b) [CDG] Andorra la Vella
- Fig. 43-3 (a) [DTA-UPC] / (b) Foto M. Urbiola, Masía Can Serra, S. Adrià del Besòs.

44. Humedades de condensación en muros y techos de los recintos habitados

- Fig. 44-1 (a)(b) [DTA-UPC] / (c) [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Sant Adrià de Besòs
- Fig. 44-2 (a) [BRE] / (b) [DTA-UPC]
- Fig. 44-3 (a) [CDG] Amsterdam / (b)(c) [MATANA]

45. Filtraciones del agua de riego de las jardineras de obra cerámica incorporadas a las fachadas

- Fig. 45-1 (a)(b)(c) [DTA-UPC] Conjunto les Cotxeres, Sarrià, Barcelona
- Fig. 45-2 (a) Proyecto reparación Cotxeres de Sarrià C. Díaz, X. Montsalvatge / (b) Foto R. Balanyà, Conjunto les Cotxeres, Sarrià, Barcelona

46. Filtraciones de agua de lluvia en fachadas de ladrillo visto

- Fig. 46-1 (a)(b) [GRUNAU]
- Fig. 46-2 (a) [GRUNAU] / (b) catálogo BAYER / (c)(d) [GRUNAU]
- Fig. 46-3 (a)(b)(c) [GRUNAU]



47. Filtraciones de agua de lluvia en fachadas de hormigón visto

Fig. 47-1 (a) catálogo BAYER

48. Filtraciones de agua de lluvia por las juntas entre materiales, vierteaguas y encuentros de las carpinterías con la obra

Fig. 48-1 (a)(b)(c) [PIZZI]

Fig. 48-2 (a) [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Sant Adrià de Besòs / (b) CUERVO]

Fig. 48-3 (a) [PIZZI] / (b) [DTA-UPC] Barrio de la Mina, Sant Adrià de Besòs / (c) [ENDEAN]

49. Formación de eflorescencias y criptoeflorescencias en las fachadas de ladrillo visto

Fig. 49-1 (a) [CDG] Hospital Vall d'Hebron, Barcelona (b) [CDG] Rivoli, Italia / (c) [ASHURTS]

50. Erosión de los muros de piedra por los efectos de los agentes ambientales

Fig. 50-1 (a) [CDG] Nápoles, Italia (b) [CDG] Iglesia, Arnes

Fig. 50-2 (a) [CDG] Tarragona / (b) [DTA-UPC] Sariñena

51. Acción de los agentes inductores de la suciedad en las fachadas

Fig. 51-1 (a)(b) Fotos R. Gumà

Fig. 51-2 (a)(b) Fotos R. Gumà

Fig. 51-3 (a) Foto R. Gumà

52. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas planas

Fig. 52-1 (a)(b) [DTA-UPC]

Fig. 52-2 (a)(b) [DTA-UPC] / (c) Foto X. Oliva, barrio del Carmel, Barcelona

Fig. 52-3 (a)(b)(c) [DTA-UPC]

Fig. 52-4 (a) [APA-3] / (b) [CDG] Albacete

Fig. 52-5 (a) Libro [BENAVENT] / (b) [CDG] Tesis doctoral / (c) [APA-3]

Fig. 52-6 (a)(b) [CDG] / (c) V, Seguí, Barrio Camps Blancs, Sant Boi de Llobregat

53. Filtraciones de agua de lluvia en las cubiertas inclinadas de teja

Fig. 53-1 (a) [CDG] Tesis doctoral / (b)(c) catálogo ISOVER

Fig. 53-2 (a)(b)(c) [DTA-UPC]

Fig. 53-3 (a)(c) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa / (b) Fotos M. Urbiola, Masia de Can Serra, Sant Adrià de Besòs

Fig. 53-4 (a)(b)(c) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa

54. Presencia de amianto en cubiertas y otros elementos de los edificios

Fig. 54-1 (a) [DTA-UPC] Pisos Sala, Mollet del Vallès / (b) El Diario 9/12/2015

Fig. 54-2 (a)(b) Guía del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2006



55. Deterioros en los elementos estructurales ubicados en los desvanes de las cubiertas inclinadas

Fig. 55-1 (a) [DTA-UPC] / (b) [CDG] L'Arbós del Penedès / (c) [DTA-UPC] / (d) [DTA-UPC] M. Urbiola, Masia de Can Serra, Sant Adrià de Besòs / (e)(f) [DTA-UPC] c. de les Escodines, Manresa

56. Efectos de la expansión del agua helada sobre los materiales porosos

Fig. 56-1 (a)(b)(c) [EMMONS]

Fig. 56-2 (a) Foto de "peritararquitectura.blogspot". / (b) [DTA-UPC]

57. Deterioros debidos al crecimiento de las raíces de los árboles y las plantas

Fig. 57-1 (a) [CDG] Castillo de Montjuich/ (b) [COLLADO]

Fig. 57-2 (a) [CHRESTIEN] / (b) [CDG]

Fig. 57-3 (a) [ADDLESON] / (b)(c) [CDG] Siem-Rialp, Camboya

Fig. 57-4 (a)(b) [BOERI]

58. Grietas y abombamientos en pavimentos interiores de baldosas cerámicas

Fig. 58-1 (a)(b) [DTA-UPC]

Fig. 58-2 (a) Informe de pavimentos cerámicos A. Marí *et al.* / (b) [DTA-UPC] / (c) [CDG]

Fig. 58-3 (a)(b)(c) [PORCAR]

59. Fugas en las instalaciones de suministro y evacuación de aguas

Fig. 59-1 (a)(b)(c) [DTA-UPC] barrio de La Mina, Sant Adrià del Besòs

60. Excesiva demanda energética en los edificios construidos con técnicas tradicionales

Fig. 60-1 (a) [CDG] / (b) [DTA-UPC] / (c) [CDG]

Fig. 60-2 (a) (b) (c) [RIPOLL]

Fig. 60-3 (a) [BRE] / (b)(c) [PERMANYER]

Fig. 60-4 (a) Santamaria, arqtes / (b) Catálogo ANDIMA

61. Excesiva demanda energética en edificios modernos

Fig. 61-1 (a)(b)(c)(d) [CDG] Tesis doctoral

Fig. 61-2 (a) [DTA-UPC]

Fig. 61-3 (a)(b) [BRE]

Fig. 61-4 (a) [CDG] Barrio Hutu, Cracovia / (b)(c) [ADIGSA]

Fig. 61-5 (a) [DTA-UPC] / (b) Santamaria, arqtes / (c) [DTA-UPC]

Fig. 61-6 (a) [AISLA] / (b) [DTA-UPC] / (c) [CDG] barrio de La Vinyala, Sant Vicenç dels Horts

Fig. 61-7 (a) Catálogo TECHNAL / (b) [DTA-UPC]

Fig. 61-8 (a) [DTA-UPC] / (b) [CDG] barrio S.O. Besòs, Barcelona / (c) [CDG] barrio de Verdún, Barcelona

62. Carencia en el aislamiento acústico del ruido exterior

Fig. 62-1 (a) Revista AITIM núm. 319 / (b) Seminario Tecniacústica 2011; Cáceres



63. Carencia en el aislamiento acústico del ruido interior

Fig. 63-1 (a)(b) CARRASCAL, M. T. y ROMERO FERNÁNDEZ, A., I Jornadas de Investigación en Construcción. CSIC, 2005





ACRÓNIMOS DE LAS FUENTES DOCUMENTALES DE LAS FIGURAS

- [ADDLESON] // ADDLESON, L. (1983). *Materiales para la construcción*. Ed. Reverté, Barcelona.
- [ADIGSA] // GENERALITAT DE CATALUNYA (1992). *Manual d'aplicació de revestiments prims per l'exterior*. ADIGSA, Barcelona.
- [AISLA] // AISLA (2020). *Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado*. Asociación de Instaladores de Aislamiento, Madrid.
- [ALVAREZ] // ÁLVAREZ, R. et al. (2013). *El terremoto de Lorca, efectos en los edificios*. INTEMAC, Madrid.
- [APA-1] // AA. VV. (2000). *Manual de diagnosis e intervenció en estructures de formigó armado*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona; Barcelona.
- [APA-2] // AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i tractament d'humitats*. Col·legi d'Arquitectes Tècnics i Aparelladors de Barcelona, Barcelona.
- [APA-3] // TRUJILLO, L. (2002). *Manual de diagnosis e intervenció en cubiertas planas*. Col·legi d'Arquitectes Tècnics i Aparelladors de Barcelona, Barcelona.
- [APA-4] // AA. VV. (1993). *Manual de diagnosi i intervenció en sostres unidireccionals de formigó i ceràmics*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona; Barcelona.
- [ARRIAGA] // ARRIAGA, F., PARAZA, F., ESTEBAN, M., BOBADILLA, I., GARCÍA, F. (2002). *Intervención en estructuras de la madera*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM).
- [ASHURTS] // ASHURTS, J. & N. (1988). *Practical building conservation*. Gower Technical Press (Vol. 2. Brick., Terracotta and Earth).
- [BELLMUNT] // AA. VV. (1998). *Manual de geotècnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona.
- [BENAVENT] // BENAVENT, P. (1939). *Cómo debo construir*. Ed. Bosch, Barcelona.



- [BINDA] // BINDA, L. A., GAMBAROTTA, L., LAGOMARSINO, S., MODENA, C. (1999). "A multilevel approach to the damage assessment and seismic improvement of masonry buildings in Italy". Artículo en Reseachgate.
- [BOERI] // BOERI, A. (2001). *Tecnologie per il recupero degli edifici rurali*. Minerva Edizioni.
- [BRE] // BRE (1986). *Remedies for condensation and mould in traditional housing*. Monografía del British Research Establishment, Garston.
- [BUTI] // BUTI, A. (2000). *Problematiche strutturali in edifici storici di civile abitazioni. Un cantiere dello I.A.C.P. nel quartiere di Porta Soprana in Genova*. Università degli Studi di Genova.
- [CALAVERA] // CALAVERA, J. (1996). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*. INTEMAC.
- [CANOVAS] // FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M. (1977). *Patología y terapéutica del hormigón armado*. Ed. Dossat, Madrid.
- [CASSINELLO] // CASSINELLO, F. (1964). *Muros de carga de fábrica de ladrillo*. Monografía Instituto Eduardo Torroja núm. 238.
- [CATERINA] // AA. VV. (1989). *Tecnología del recupero edilizio*. Unione Tipografico Editrice Torinese (UTET).
- [CDG] // Fotos, gráficos de Cèsar Díaz Gómez
- [CEDESCO] // CEDESCO (1976). *Apuntes de patología y terapéutica del hormigón*. Centro de Estudios de la Construcción. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Catalunya. Rehabilitar, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED.
- [CERVELLÓ] // CERVELLÓ S. (1998). AA. VV. *Manual de geotècnia i patologia, diagnosi i intervenció en fonaments*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona (cap. 13, pp. 129-136).
- [COLLADO] // LOPEZ COLLADO, G. (1976). *Ruinas en construcciones antiguas, causas consolidaciones y traslados*. Ministerio de la Vivienda, Madrid.
- [CONCRETE SOCIETY] // CONCRETE SOCIETY, (1992). *Non-structural cracks in concrete*. Technical Report nº 22. Of Concrete Society Working Party.
- [CORTES] // CORTES, J. M. (1985). "Revestimientos de fachada con placas de piedra de pequeño espesor" (ponencia). I Congreso de Patología de la Edificación, Barcelona.
- [CUENCA] // AA. VV. (1005). *Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales de tierra en Cuenca*. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Cuenca, Ecuador.
- [CUERVO] // CUERVO, L., FERRERES, T. (2009). *Prevención de humedades II*. Manuales profesionales X, Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona.



- [CHRESTIEN] // CHRESTIEN, M. (1951). "La acción a distancia de la vegetación sobre las construcciones". *Rev. Informes de la construcción* núm. 35.
- [CYTED] // AA. VV. (2003). *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón*. Red Rehabilitar. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- [DTA-UPC] // Fondo documental del Departamento de Tecnología de la Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [DUELL] // DUELL, J., LAWSON, F. (1983). *Damp proof course detailing*. The Architectural Press, Londres.
- [EMMONS] // EMMONS, PETER H. (1993). *Concrete repair and maintenance illustrated*. R.S. Means Company, Inc., Kingston (USA).
- [ENDEAN] // ENDEAN, K. E. (1995). *Investigating rainwater penetration of modern buildings*. Gower Pb., England, USA.
- [FRANCHINI] // FRANCHINI, F. (2008). *L'intervento di recupero: una metodologia dall'analisi al progetto*. CLEUP, Padova.
- [GARCIA] / GARCÍA LOPEZ, M. (1991). Cimentaciones y contenciones: técnicas de refuerzo y recalzo. Curso de Patología (Tomo 1), Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- [GRUNAU] // GRUNAU, E. B. (1967). *La lutte contre l'humidité dans les façades*. Ed. Eyrolles.
- [HEYMAN] // HEYMAN, J. (1999). *El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica*. Instituto Juan de Herrera, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- [INSPECCIÓN] AA. VV. (2005). *Protocolo de Inspección Técnica de Edificaciones*. Colegio de Arquitectos de Sevilla.
- [LOGEAIS-1] // LOGEAIS, L. (1988). *L'étanchéité des façades 1. Exigences et moyens*, Qualité Construction, ed. E.G.
- [LOGEAIS-2] // LOGEAIS, L. (1989). *L'étanchéité des façades 1. Statistiques et pathologie*, Qualité Construction, ed. E.G.
- [LUZARDO] // CALAVERA, J., PÉREZ LUZARDO, J. M. (1990). *Tipología de fisuras en el hormigón armado*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria.
- [MAÑÀ] // MAÑÀ, F. (1978). *Patología de las cimentaciones*. Ed. Blume, Barcelona.
- [MARIANI] // MARIANI, M. (2006). *Trattato sul consolidamento e restauro degli edifici in muratura*. Centro Studi Sisto Mastrodicasa, Milano.
- [MAS-GUINDAL] // MAS-GUINDAL, A. (1998). *La reparación de la Estructura*. Fundación Cultural COAM, Madrid.



- [MASTRODICASA] // MASTRODICASA, S. (1978). "Cedimento delle Strutture Murarie". *Dissesti statici delle strutture edilizie*. Ulrico Hoepli Editore (Parte Terza), Milano.
- [MONTROYA] // JIMÉNEZ MONTROYA, P., GARCÍA MESEGUER, A., MORAN, F. (2000). *Hormigón armado*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- [MATANA] // MATANA, M. (1995). *Humidité*. Editions Alternatives.
- [MUNAFO] // MUNAFÒ, P. (1990). *Recupero dei solai in legno*. Dario Flaccovio ed.
- [MUNDULA] // MUNDULA, I., TUBI, N. (1999). *Umidità e risanamento negli edifici in muratura*. Maggiore ed. San Marino.
- [MUÑOZ-1] // MUÑOZ HIDALGO, M. (1994). *Diagnosis y causas en patología de la edificación*. Editado por el autor .
- [MUÑOZ-2] // MUÑOZ HIDALGO, M. (2012). *Manual de patología de la edificación*. Editado por el autor.
- [PARICIO-1] // PARICIO, A. (2008). *Secrets d'un sistema constructiu: l'Exemple*. Edicions, UPC, Barcelona.
- [PARICIO-2] // PARICIO, A. (2017). *La casa de cos al Maresme*. Edicions els 2 Pins, Canet de Mar.
- [PERMANYER] / PERMANYER, E. *Solucions constructives per a la rehabilitació d'habitatges d'alta muntanya*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITEC), Barcelona
- [PIZZI] // PIZZI, E. (2000). *La facciata. Diagnosi del degrado e interventi di ripristino*. Maggioli ed.
- [POBLE] // AA. VV. (2006). *Cases de poble. Evolució, arquitectura i restauració dels nuclis rurals*. Brau, ed. Figueres.
- [PORCAR] // PORCAR, J. L. (2005). *Defectos y disfunciones en alicatados y solados. Diagnósis y prevención*. Institut de Promoció Ceràmica, Diputació de Castelló.
- [REGALADO-1] // REGALADO, F. (1991). *Catálogo Informativo de la construcción* (CIC), R-196, R-197, R-198.
- [REGALADO-2] // REGALADO, F. (1991). *Los forjados reticulares*. CYPE Ingenieros.
- [REV-2C] // AA. VV. (1981). "La masía: historia y tipología de la casa rural catalana". *Revista 2C Construcción de la Ciudad*, núm. 17-18.
- [RIPOLL] / AA. VV. (2005). *La masia catalana. Evolució, arquitectura i restauració*. Brau ed. Figueres.
- [ROCCHI-1] // ROCCHI, P., PICCIRILLI, C., BLASI, S. (1999). *Manuale del consolidamento*. Tipografia del Genio Civile, Roma.



- [ROCCHI-2] // ROCCHI, P. (1983). *Progettare il consolidamento*. Edizioni Kappa, Roma.
- [RODRÍGUEZ] // RODRÍGUEZ RUIZ, J. M. (1984). *La cimentación*. Curso de Rehabilitación-4. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (Tema 1).
- [SALVADORI] // SALVADORI, M. (1987). *Estructuras para arquitectos*. Ed. La Isla, Buenos Aires (pp. 40-47).
- [SCARZELLA] // SCARZELLA, P., ZERBINATTI, M. (2009). *Recupero e conservazione dell'edilizia storica*, Alinea ed., Florencia.
- [SCHAUPP] // SHAUPP, W. (1962). *Le mur exterieur*. Ed. Eyrolles, París.
- [STEFANO] // DI STEFANO, R. (1990). *Il Consolidamento strutturale nel restauro architettonico*. Edizioni Scientifiche Italiane.
- [VALENCIA] // AA. VV. (2010). *Guía para la inspección y evaluación preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes*. Instituto Valenciano de la Edificación, Generalitat Valenciana.
- [VILLA] // AA. VV. (1972). *De re restauratoria*. Cátedra Gaudí, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB).