

Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes

Inspection and evaluation of existing structures: a task for brave engineers

Javier León González. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director Técnico del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de Estructuras. Fhecor Ingenieros Consultores
Profesor Titular. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPM. jlg@fhecor.es

Hugo Corres Peiretti. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de Fhecor Ingenieros Consultores. Catedrático.
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPM. hcp@fhecor.es

Francisco Prieto Aguilera. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento de Estructuras.
Fhecor Ingenieros Consultores. fpa@fhecor.es

Resumen: Comprobar una estructura existente comporta entenderla a fondo. En el ámbito de la Medicina, entender bien el caso del paciente se basa en una bien estudiada historia clínica, en un reconocimiento visual, en la analítica y, finalmente, en la formulación de un diagnóstico que explique la causa de los males. No hay razón alguna para no aplicar un *modus operandi* similar a las construcciones existentes. En este artículo se propugna una mejor educación de los ingenieros que les haga sentir que el entendimiento de una estructura ya existente es parte de un fascinante todo y no sólo un mero modelo matemático.

Palabras Clave: Construcciones existentes; Mantenimiento; Diagnóstico; Educación

Abstract: Assessing an existing structure implies its in-depth understanding. In medical practice, full understanding of the patient is based on a well studied clinical history, a visual check, analytical tests and, consequently, a comprehensive diagnosis of the causes of the diseases. There is no reason not to apply a similar *modus operandi* to existing structures. This paper claims for a better education of young engineers, to enable them to understand an existing structure as a part of a fascinating whole and not merely as a mathematical model.

Keywords: Existing structures; Maintenance; Diagnosis; Education

1. Introducción

Le Corbusier concebía la Arquitectura como una 'sabia, concreta y magnífica combinación de volúmenes agrupados bajo la luz', suponiéndole a la obra una vida prácticamente eterna. Fernández-Casado [5] matizaba el aserto de Le Corbusier advirtiéndole que 'no se trata de volúmenes, sino de masas que pesan y resisten. La arquitectura del ingeniero arraiga en lo cósmico, forzándole a una actitud ascética ante la Naturaleza, de contención estoica frente al atractivo de lo superfluo; actitud no intemporal pero sí independiente de las modas'. El debate, lejos de haberse cerrado, presenta ahora otras facetas.

Desde hace no muchos años, un nuevo concepto, que entronca con la profunda visión filosófica de Fernández Casado, se viene haciendo presente en las bases de proyecto de los ingenieros, conviviendo con

los de seguridad estructural y aptitud en servicio: la durabilidad. Los códigos modernos, como la Instrucción española de hormigón estructural EHE (1998) [3], establecen que 'una estructura debe ser proyectada y construida para que, con una seguridad aceptable, sea capaz de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el período de vida útil previsto en el proyecto así como la agresividad del ambiente'. Para asegurar la durabilidad, como cualidad exigible a una construcción, es imprescindible fomentar una especialidad nueva: la ingeniería de mantenimiento. Así, la edición en ciernes de la nueva EHE (2008) [4], que incluye un artículo específico sobre el particular, señala: 'Se entiende por mantenimiento de una estructura el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada, con arreglo a los criterios de la presente Instrucción, no disminuya durante su vida

útil de proyecto por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas.'

Algunos planteamientos sostienen la idea de que las estructuras no deberían seguir en servicio más allá de un periodo de tiempo definido de manera convencional, con independencia del estado en que se encuentren, atendiendo a criterios de caducidad nominal o de amortización de la infraestructura, debiéndose entonces demoler y reponer. Sin embargo, los principios de la sostenibilidad, perfectamente aplicables a la ingeniería, están abriendo nuevos escenarios y exigiendo nuevas estrategias de decisión, que incluyen la posibilidad de alargar el plazo de vida de las construcciones.

En ese contexto, es preciso reconocer que se ha dedicado poco tiempo al mantenimiento de las construcciones, tanto desde el punto de vista técnico, como desde el económico o el educativo, lo que no deja de ser un síntoma de que la sociedad no ha considerado el mantenimiento de las estructuras una tarea tan importante como la del cuidado de aviones o de ferrocarriles de alta velocidad. Por desgracia, algunos accidentes recientes (figura 2) parecen haber propiciado un cambio de tendencia¹.

La opinión de los autores es que el mantenimiento de estructuras abre un universo de posibilidades y desafíos a los ingenieros, pero comporta también nuevas exigencias en materia de formación. A ese propósito se refiere este texto.

La necesidad de mantener estructuras implica a construcciones de todas las edades, materiales y tipologías (figura 3), lo que exige, en palabras de Poul Beckman [2] 'a couple of open eyes and an open mind', así como un profundo y vasto conocimiento de ingeniería estructural. Añádase cómo la experiencia adquirida por los autores en este terreno, partiendo de las estructuras de hormigón, ha permitido proyectar (una vez más) el conocimiento hacia otros materiales estructurales, con una perspectiva liberada de prejuicios y enriquecida con aspectos aparentemente lejanos del quehacer del ingeniero como la Historia, para saber situar las construcciones en sus coordenadas geográficas y temporales, adobadas con las particularidades de la sociedad que las erigió y las utilizó.

(1) La Administración norteamericana prometió atención preferente al mantenimiento de los puentes a raíz del accidente de Minneapolis, atribuido de manera vaga a la edad del puente y a su pobre mantenimiento. Pocos meses después se detectó un vicio oculto de proyecto que determinó, en conjunción con otras circunstancias, el colapso súbito de la estructura.



Fig. 1. Le Corbusier y Fernández-Casado. Dos visiones diferentes pero complementarias de las estructuras en el siglo XX.



Fig. 2. Colapso del Puente sobre el río Mississippi en Minneapolis (1 de agosto de 2007).



Fig. 3. Procesos de degradación de estructuras de diferentes materiales y tipologías estructurales, pero siempre peores cuanto mayor es la edad (fotos de los autores).



2. El concepto del 'ciclo vital'

La figura 4 presenta la evolución de la esperanza de vida en España desde el comienzo del s. xx. Resulta evidente que la aplicación de medidas preventivas y una adecuada política sanitaria ('mantenimiento' en sentido general) han permitido duplicar la desoladora esperanza de vida de 1900. No hay razón para poner en duda que una adecuada política de mantenimiento aplicada a las construcciones existentes y basada en nuevos y viejos conceptos de ingeniería, prolongue de manera importante la vida de las estructuras. La figura 5 muestra un clarificador diagrama de las sucesivas fases por las que pasa una estructura, en paralelo con las de un ser humano, y la relación que guarda con la actividad del ingeniero.

Aunque el primer paso enunciado en dicha figura, la decisión de construir, está normalmente fuera del ámbito del técnico, es de enorme utilidad para él saber de las circunstancias históricas de tal decisión. Un ingeniero avezado puede extraer una muy valiosa información: la normativa vigente en el momento del proyecto y la construcción –si ha sabido situar la fecha, lo que no siempre es obvio–, la calidad de los materiales estructurales –desde el punto de vista de la resistencia y de la durabilidad–, métodos constructivos, etc. El ingeniero que sabe situar estas cosas en el tiempo y en el espacio sabe qué sociedad mandó construir aquello, sabe de su contexto técnico, social y económico. El ingeniero que sabe eso es el ingeniero de visión cósmica y antropocéntrica, arraigada en el verdadero *ethos* del ingeniero que es, ante todo, un ser humano. Pero eso es otra historia.

Hay que tener presente también que las fases de proyecto y construcción duran, juntas, unos cuantos meses, muy poco tiempo en comparación con la desahablemente larga y habitualmente olvidada fase de servicio. Lo cierto es que la inexorable degradación de los materiales –más acelerada cuanto menor es el mantenimiento–, algunos errores de proyecto y las deficiencias durante la construcción condicionan la vida de las estructuras. Aunque resulte obvio el valor de conocer las causas de todo aquello que amenaza la vida de lo construido, no es menos cierto que la ingeniería, como disciplina colectiva, no saca suficiente partido de la experiencia, no retroalimenta el sistema.

Prueba irrefutable de ello es que la mayor parte del esfuerzo docente –y también investigador– de uni-

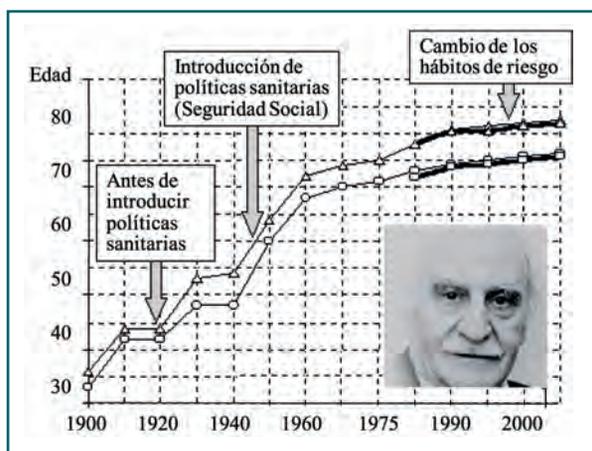


Fig. 4. Evolución de la esperanza de vida en España y el ejemplo de excepciones cada vez más frecuentes: el escritor Francisco Ayala, 102 años y aún activo (fuente: Internet).

versidades y centros de investigación y formación técnica se ha dedicado al proyecto de obra nueva. Eso fue lógico en un momento en el que las necesidades de la sociedad se centraban en la construcción de viviendas, artículo de primera necesidad, y de diversas infraestructuras, no menos vitales. En ese contexto, se fueron desarrollando procedimientos operativos ampliamente consensuados (que llegaron a adoptar la forma de normas y reglamentos) para hacer fácil la tarea del ingeniero, para dotar de las mismas reglas de juego a todos los profesionales y, aspecto muy importante, cubrir su responsabilidad.

La enseñanza ha estado especialmente dirigida a saber utilizar esa referencia documental o las herramientas informáticas desarrolladas en las últimas décadas, pero ha prestado menos atención a la enseñanza más profunda y valiosa: la que estimula las ganas de entender, la que dota al ingeniero de intelecto. No debe interpretarse la afirmación anterior como desdeñosa hacia el papel de los códigos o de los programas. Todo lo contrario. Esas herramientas liberan al ingeniero de lo

Fig. 5. El 'ciclo vital': el entorno en el que se desarrollan las actividades de inspección y mantenimiento. Una explicación más completa de esta metáfora puede encontrarse en la referencia [1].

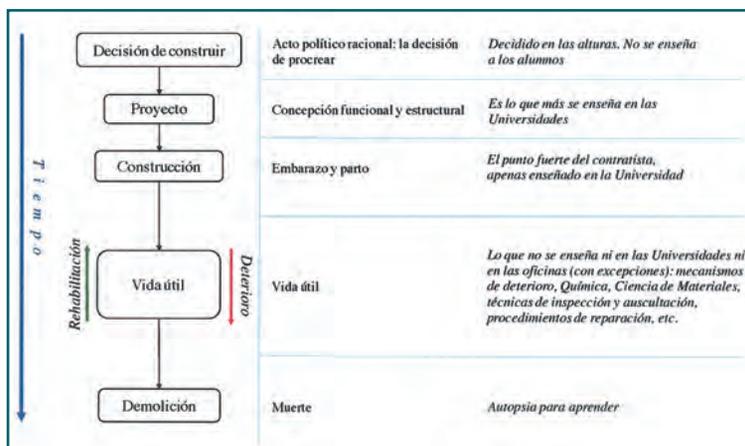




Fig. 6. Asiento diferencial: un síntoma relativamente fácil de detectar y caracterizar (foto de los autores).

tedioso, le permiten pensar y dedicar su atención a lo verdaderamente importante y aumentan su productividad. Pero, para eso, es necesario que el ingeniero esté capacitado para detectar lo importante: la concepción estructural adecuada, el entendimiento de la estructura ya existente que le toca estudiar, el mejor procedimiento constructivo, la detección de síntomas que permitan diagnosticar, etc.

La idea del 'ciclo vital', que entronca con la idea antiquísima de perdurabilidad de lo construido, que debía durar mucho más que el propio constructor, ha estado escasamente presente en la mente de los ingenieros y de los enseñantes de ingenieros, dando lugar a ingenieros convencionales, incapaces de liberarse de prejuicios y de actuar a pecho descubierto, sin el amparo de códigos y reglas que no existen para afrontar la apasionante tarea de actuar en una construcción existente.

3. Detección e interpretación de daños

En los últimos años han proliferado diferentes catálogos de daños para ayudar a los técnicos en la detección de daños en ciertas estructuras [6]. El problema es que la excesiva especialización ha conducido, por desgracia, a una comprensión e interpretación parciales de dichos documentos.

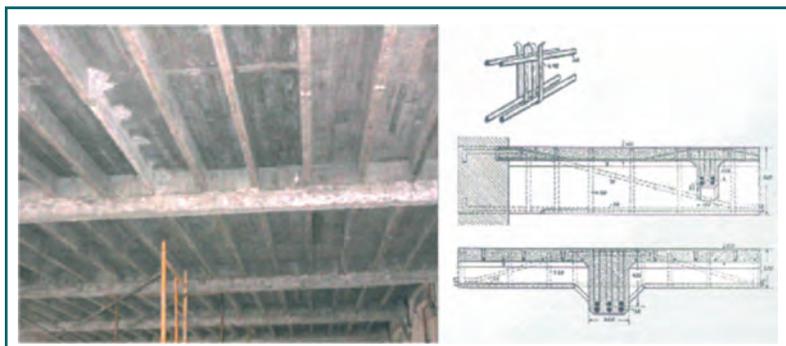


Fig. 7. Viejas y aparentemente sanas estructuras: trampas potenciales (foto de los autores).

Así, por una parte, los ingenieros estructurales se sienten cómodos cuando dan con fisuras –que no siempre son fallos, sino la expresión de un funcionamiento según lo previsible– de flexión, cortante, etc., pero se encuentran a disgusto –con esa desazón que produce el descubrimiento de que no se sabe y que se está lejos de saber– cuando tienen que reconocer fallos debidos a procesos electroquímicos de corrosión de armaduras, descementación de sillares de arena o ataques por sulfatos.

Por otra parte, cuando los especialistas en materiales han de inspeccionar una construcción tienden a buscar corrosiones, presiones osmóticas e iones asesinos, aunque sean más evidentes los daños producidos por una sobreexplotación de la estructura por aumento de las cargas o por errores de proyecto y construcción.

Dibujada esa caricatura, puede concluirse que la detección e interpretación de los daños requiere el concurso de técnicos 'completos', ingenieros educados para ello. En lo que sigue se presentan algunos ejemplos que permiten ilustrar estas ideas.

Es bien sabido que las deformaciones impuestas o coartadas (figura 6) apenas producen efectos estructurales (esfuerzos) en estructuras isostáticas, y que, en teoría, sí comportan grandes esfuerzos en las hiperestáticas. El ingeniero inspector debe tener en cuenta que las consecuencias reales de los efectos de los movimientos impuestos en estructuras hiperestáticas son mucho menores que los que se deducen del convencional, pero falso, análisis elástico y lineal, siempre que se den unas mínimas condiciones de ductilidad (que, por cierto, no han sido definidas aún en función del movimiento impuesto o coartado: no está en la normativa).

En el extremo opuesto, el ingeniero puede toparse con estructuras apenas fisuradas, pero con importantes deformaciones diferidas, como se muestra en la figura 7. A pesar de una buena apariencia, estas estructuras ocultan traidoramente su mal y constituyen una trampa peligrosa para el ingeniero incauto. Proyectadas en los primeros años del hormigón estructural, cuando aún no se había entendido bien la necesidad de disponer armadura comprimida a partir de un cierto valor del momento solicitante (la bien conocida hoy frontera del 'momento límite'), estas estructuras pueden dar lugar a roturas frágiles que, por desgracia, no se pueden prevenir con la socorrida panacea de las bandas de fibra de carbono, sencillamente porque no llegarán jamás a entrar en carga.

Frente a las fisuras diagonales (figura 8) el inspector que hubo en su día de estudiar la teoría del hormigón estructural (no digamos si el inspector es profesor de esa materia), vive la inefable sensación de tener frente a sí un modelo real de bielas y tirantes, planteamiento que con toda seguridad le pareció una arbitraria simplificación que se consagraba en los libros de texto. A propósito, los autores no acaban de entender por qué, incluso en condiciones de agresividad ambiental y con aberturas de fisura que superan los valores establecidos en la normativa, no hay en la zona de fisura un nivel de corrosión mayor que en otras, incluso comprimidas (no fisuradas).

La figura 9 muestra un ejemplo de una errónea imputación al esfuerzo rasante de la fisura horizontal en el encuentro de ala y alma de una viga T, debida más bien al asiento diferencial del hormigón fresco del alma de una viga con relación al de las alas. Ese diagnóstico equivocado movió al ingeniero a recomendar un refuerzo (nada sencillo) de la unión ala-alma.

Algunos inspectores han mostrado gran preocupación al dar con fisuras de abertura relativamente grande y localizadas en clave y arranques de bóvedas (figura 10). Tales fisuras no son sino la manifestación de un comportamiento normal de este tipo de

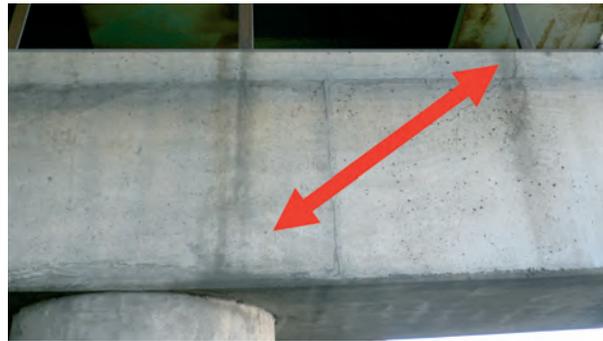


Fig. 8. Fisura diagonal que evidencia la movilización de una biela comprimida (fotos de los autores).

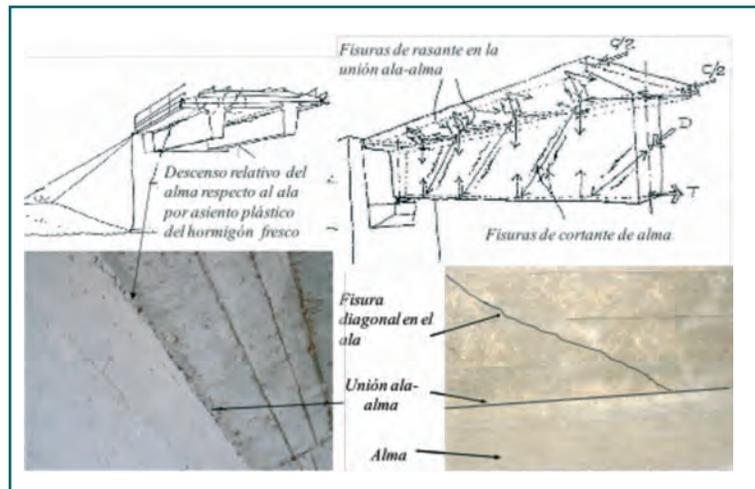


Fig. 9. Diferencia entre fisura de rasante y de asiento plástico del hormigón en la unión ala-alma.

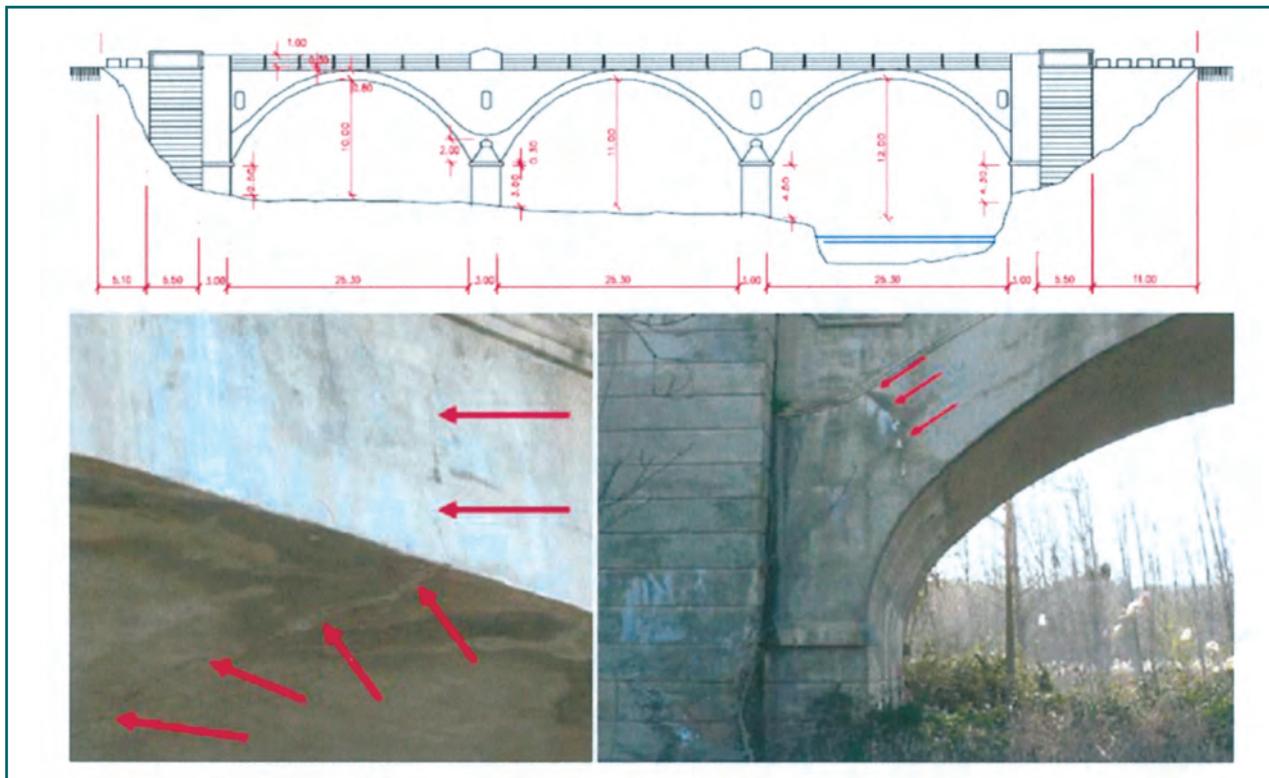


Fig. 10. Fisuras inocuas en un puente de bóvedas, anunciadoras tan solo de un comportamiento normal, aunque alarmante a los ojos del inexperto inspector (fotos de los autores).

Fig. 11. Soporte de hormigón perteneciente a una estructura de edificación que exhibía, treinta años después del final de su construcción, graves vicios ocultos de proyecto y de construcción así como importantes pérdidas de durabilidad (foto de los autores).



estructuras, de fábrica o de hormigón en masa. La explicación de esta carencia formativa hay que buscarla en el hecho de que al técnico de hoy no se le enseña en la Universidad el funcionamiento de bóvedas de ese tipo, vieja tipología que ya no se utiliza y, por tanto, no se enseña. Un ejemplo más de que, o bien la Universidad, o bien otro estamento, tendrán que cubrir esa laguna de la formación.

Vicios ocultos del proyecto o la construcción pueden llevar a situaciones de colapso como la de la figura 11. Aunque parezca sorprendente, el arquitecto, forzado por la necesidad de conservar el volumen edificado, decidió reparar una estructura irreparable. Es cierto que hay técnicas [7] que permiten confinar el viejo hormigón mediante encamisados de diferente tipo, pero el ingeniero sensato debe contribuir a delimitar el límite lógico de lo que es razonable reparar, sopesando la importancia de los daños, los costes de reparación y la vida útil residual.

El empleo (indiscriminadamente creciente) de sales fundentes en carreteras puede producir, cuando las sales se disuelven en el agua y ésta riega los paramen-

Fig.12. Efecto de las sales de deshielo. Está fuertemente arraigada la idea de que sales=cloruros=corrosión de las armaduras, pero resulta aún peor, en condiciones climáticas extremas, la acción expansiva de las sales al cristalizar cuando se evapora el agua en que estaban disueltas (fotos de los autores).



tos de hormigón, importantes daños al hormigón, destruyéndolo hasta el punto de amenazar incluso la estabilidad de los aparatos de apoyo, como se muestra en la figura 12. El problema puede eludirse en gran medida si se disponen sencillos sistemas de evacuación del agua (drenaje) y se lleva a cabo un mantenimiento adecuado. A este respecto, los autores quieren dejar constancia de la aleccionadora experiencia adquirida al inspeccionar estructuras fuera de España, en zonas de clima y tradición diferentes de las propias.

Los ataques de tipo químico no son tan fáciles de detectar, puesto que síntomas similares pueden tener un origen muy diverso (figura 13). Así, la retracción plástica que se puede producir poco después de poner en obra el hormigón, los gradientes térmicos que se generan en el proceso de fraguado y primer endurecimiento de la pasta de cemento, o el ataque químico a que da lugar la presencia de aguas selenitosas en elementos de hormigón que se construyeron con cementos inadecuados, producen un patrón de fisuración (en 'mapa' o en 'piel de cocodrilo') muy similar. Por tanto, es esencial que el inspector, *in situ*, identifique la relación de posibles causas que expliquen lo sucedido, señalando los ensayos y análisis necesarios para rematar el diagnóstico.

En los últimos lustros se ha producido un gran avance en el estudio de la corrosión de las armaduras. Se dispone ahora [4] de modelos que proporcionan una razonablemente buena estimación de la vida útil (figura 14). Por medio de estos modelos, el ingeniero-inspector-reparador está en condiciones de evaluar la vida útil residual y de definir con buen criterio la metodología de reparación y mantenimiento. Esto, que parece una tarea menor, implica una gran responsabilidad, puesto que una reparación mal concebida o ejecutada puede enmascarar otros males no detec-



Fig. 13. La coincidencia de síntomas similares con orígenes diferentes reclama una atención específica de los inspectores (fotos de los autores).

tados, lo que trae consigo una reducción de la vida útil y un desprestigio del reparador.

4. Ingeniería de mantenimiento

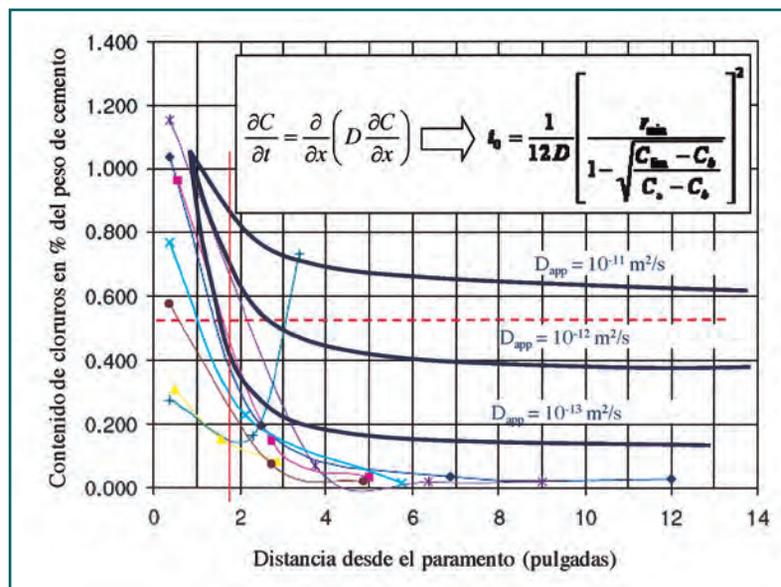
Una vez aceptado el hecho de que las estructuras experimentan una inexorable degradación, la labor del ingeniero es definir la mejor estrategia para mantener la seguridad, la funcionalidad y la durabilidad por encima de unos umbrales mínimos. La figura 15 muestra un diagrama del profesor Mola [8] que resume las ideas que están detrás de la eterna lucha contra la muerte (la lucha para retrasar el final lo más posible, sin ponerse tan trascendentes). Debe tenerse en cuenta que, teóricamente, todas las actuaciones deben conducir a un aumento de la vida útil. Sin embargo, una actuación erróneamente concebida o ejecutada puede incluso acelerar los procesos de deterioro. Ese fue el caso, por ejemplo, de las bienintencionadas actuaciones de rejuntado de fábricas con mortero de cemento pórtland, o la inclusión de piezas de hierro (s. XIX) para coser sillares.

La figura 16 muestra una simplificación de las mismas ideas con el formato de Tuutti [9]. La vida útil t_1 de una estructura es la suma del periodo de iniciación (hasta t_0) y del periodo de propagación t_2 , entendido éste como el plazo de tiempo que transcurre desde que la estructura queda desprotegida frente al ataque hasta que se alcanza un cierto umbral de daño aceptable. Por desgracia, suele actuarse cuando se ha sobrepasado con creces el umbral aceptable de daño. Así, el incremento de vida útil que se proporciona es $t_{1B} - t_B$. Sin embargo, si se hubiera actuado, pre-

ventivamente, en el instante t_A , el final del periodo de iniciación se habría retrasado hasta t_{0A} y el final de la vida útil hasta t_{1A} . Casi siempre, además, actuar con carácter preventivo es mucho más barato. La cuantificación de los periodos de iniciación y de propagación ('curvas de deterioro') requiere un correcto diagnóstico de los mecanismos de deterioro y una suficiente evaluación de los parámetros relevantes de los modelos disponibles: de nuevo una tarea que exige el concurso de ingenieros expertos.

Es fácil comprender que la pendiente de la recta de deterioro (para $t > t_0$) depende, entre otras cosas, del mantenimiento. Es de gran interés constatar cómo algunas sociedades han asumido la necesidad de implantar políticas de mantenimiento hasta hacerlas exponente de una conciencia colectiva. Es el caso de

Figura 14. Modelo disponible, basado en la segunda ley de Fick, para estimar el periodo de iniciación del proceso de corrosión de las armaduras (trabajo de los autores).





A. BIANCHINI, Ingeniero, S.A.

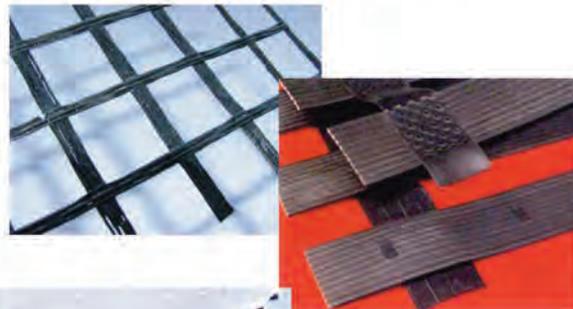
GAVIONES · ENREJADOS · ALAMBRES · FIBRAS · GEOSINTÉTICOS

Nuevos Productos

- Geomallas de refuerzo hasta 1.350 kN/ml
- Refuerzo de asfalto
- Geo y Biomantas antierosión
- Laminas drenantes
- Geomembranas y GCL
- Geotextiles

La empresa A. Bianchini, Ingeniero, S.A., gracias a su experiencia y Know-How, es capaz de ofrecer una asistencia técnica, en el proyecto y en la aplicación de sus productos, única en el sector.

Contacten Ustedes con nuestro departamento comercial.



Calidad, servicio y asistencia en la obra

Administración y Comercial: Diputació, 279, 1º 3ª 08007 · BARCELONA · TEL. 93 496 13 00 · FAX 93 496 13 01

Fabrica: Gran Vial, 8 · 08170 · Montornès del Vallès · Tel. 93 568 65 15 · Fax 93 568 65 11

E-mail: comercial@abianchini.es

<http://www.abianchini.es>



TECNICAS REUNIDAS

Infraestructuras y Medioambiente



INITEC
INFRAESTRUCTURAS



Tranvía de Campello. Alicante.



Desaladora Rambla Morales. Almería.

AL SERVICIO DE SU CIUDAD

Más de 300 especialistas en las áreas de Aeropuertos y Transporte Aéreo, Puertos y Costas, Transporte Terrestre, Arquitectura, Edificación y Urbanismo, Ecología e Hidráulica

- Con gran diversificación de clientes y proyectos
- Más de 200 millones de euros de construcción de obras en curso
- Más de 100 contratos de servicios de ingeniería en vigor
- Más de 600 millones de euros de cartera de explotación

Rafael Calvo 3-5. 28010 MADRID. Tfno.: (34) 91 592 39 00. Fax: (34) 91 592 39 01/02. www.tecnicasreunidas.es

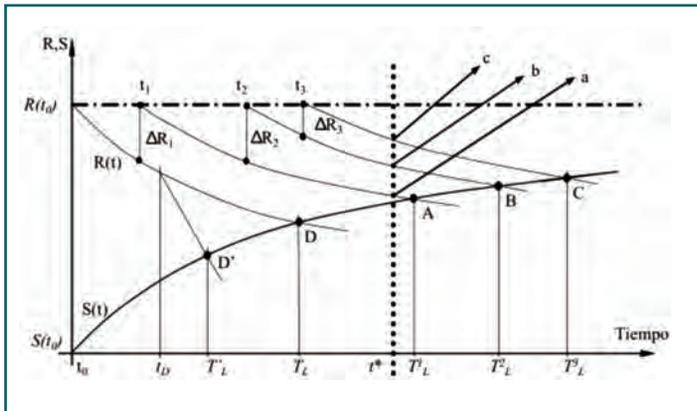


Fig. 15. Evolución de acciones $S_d(t)$ y capacidades resistentes de la estructura $R_d(t)$. Posibles intervenciones para incrementar la vida útil. A la derecha, Fig. 16. Posibles estrategias para alargar la vida útil.



Fig. 17. El ejemplo de la mezquita de Djanné (Mali) (la foto superior, de los autores).

Un nuevo elemento de debate se ha incorporado hace relativamente poco tiempo al planteamiento del 'ciclo vital' de las construcciones: la seguridad del usuario. Ya no se trata sólo de controlar las fisuras de torsión o el contenido de cloruros, esto es, de la seguridad y la vida de la propia estructura, sino de algo más próximo al ciudadano y al político: resulta inaceptable, en términos políticos y económicos, que la estructura o su equipamiento puedan resultar peligrosos o inadecuados en caso de accidente previsible (figura 18). Es una señal que se da sólo en las sociedades avanzadas, que dan más valor a la vida y salud

la mezquita de Djanné, en Mali (figura 17). Cuando toca, los ciudadanos son llamados a la tarea de reparar, con carácter preventivo, las viejas paredes de tapial. La misma figura 17 muestra otro admirable ejemplo: la existencia de maderos en ménsula que, con carácter permanente, sirven de apoyo a las gentes y a los útiles que se aprestan al cuidado de la construcción, tanto para inspeccionar como para curar. La nueva Instrucción EHE [4] exige la previsión, en el proyecto, de dispositivos que faciliten la inspección y la realización de operaciones de sustitución de elementos de vida útil inferior a la general prevista a la estructura (p.e., aparatos de apoyo, juntas, etc.).



Fig. 18. Pretiles: un ejemplo de elemento vinculado a la seguridad del usuario y que tiene implicaciones estructurales y de mantenimiento (las fotos inferiores son de los autores).

humanas –en términos esencialmente económicos, por desgracia–, una vez resueltas otras necesidades consideradas más primarias.

Desde un punto de vista exclusivamente técnico, la cuestión se ubica en una zona fronteriza y difusa: parece que ni pertenece al ingeniero estructural, ni a los expertos en contención de vehículos, protección contra el fuego, etc. Desde luego, pertenece a ambos. Debe destacarse que el problema es de una complejidad extraordinaria y que la forma habitual de resolverlo, hoy por hoy, es por vía empírica, que valide la utilización de sistemas en determinadas hipótesis o circunstancias.

5. Educación

La actividad del ingeniero de mantenimiento (por definir bajo ese término el conjunto de conceptos que se han enunciado más arriba) está desprovista de la aureola de gloria que rodea la redacción de proyectos de nueva planta. Sin embargo, para el técnico con sentido de la curiosidad, que disfruta con el entendimiento de lo que le pasa a las construcciones, que es capaz de extraer enseñanzas que iluminen los nuevos proyectos, que es capaz (y esto suele ignorarse) de asumir la responsabilidad de dar por válida una construcción, de actuar con criterio fundado, sobrio y sólido, la actuación en el ámbito del mantenimiento ha de resultar fascinante. Saber de todos los materiales, de todas las tipologías, de todos los entresijos constructivos y funcionales de una construcción proporciona igualmente grandes satisfacciones y dota al profesional de una "visión cósmica" de la profesión (idea expuesta en la introducción) y de sus mil facetas que la hace tan comprehensiva, si no más, que la actividad en la obra

nueva, especializada por lo general en unas pocas disciplinas, tipologías, materiales,... Sin duda, esta actividad requiere de ingenieros con curiosidad y con la valentía de aceptar los retos que comporta este desafío.

Para que tal goce intelectual sea posible es preciso ilusionar a los jóvenes. Es necesario vacunar a los alumnos contra una enfermedad que aqueja a sus actitudes y, aparentemente, a sus aptitudes: la 'calculitis'. El cálculo es sólo, lo decía también Fernández Casado, la herramienta que permite confirmar la validez de las intuiciones, dar objetividad a la comprensión de los fenómenos. El cálculo no es ingeniería; si acaso, una pequeña parte de la ingeniería. Tal vacuna consiste en presentar a los alumnos, al aire fresco de la realidad, cómo son las estructuras de verdad, sus dimensiones arquitectónica, resistente, funcional, etc. En ese sentido, la inspección y la evaluación de estructuras constituyen una buena vacuna.

Las Universidades deberían completar su oferta educativa en el ámbito de las estructuras para tener en cuenta más materiales y tipologías constructivas (las que ya existen y dejaron de enseñarse), reforzando u orientando mejor la formación en química, ciencia de materiales, técnicas no destructivas de análisis y auscultación, así como historia de la construcción y hasta lingüística y terminología. En una Europa que quiere regirse por los principios educativos de Bolonia, teóricamente para suministrar ingenieros con el perfil que demanda la sociedad de hoy, es preciso también recordar la absoluta necesidad de que participen en el proceso educativo los ingenieros con bagaje profesional acreditado (no sólo, que también, de publicaciones científicas), de la misma manera que los buenos profesionales de la medicina enseñan en la Facultad y en los hospitales universitarios, en contacto con la realidad. ♦

Referencias:

–Bauder, E. Las edades del puente de fábrica. Terminología y metáfora. Tesis doctoral dirigida por Aguado, G. y León, J. Marzo, 2007.
–Beckman, P.; Bowles, R. Aspects of Building Conservation. Elsevier-Butterworth-Heinemann, Oxford 2004.
–EHE. Instrucción de Hormigón Estructural. Diciembre, 1998.

–EHE. Borrador de nueva Instrucción de Hormigón Estructural. 2007.
–Fernández-Casado, C. La Arquitectura del Ingeniero. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid 2005 (primera edición, 1975).
–León, J.; Espeche, A.; Corres, H. et al. Daños en puentes ferroviarios de hormigón. Grupo de Hormigón Estructural. Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre, 2003.

–Espeche, A. Refuerzo de pilares con encamisado de hormigón. Tesis Doctoral en marcha en la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, bajo la dirección de J. León.
–Mola, F.; Vitaliani, R. Analysis, diagnosis and preservation of ancient monuments: the St. Mark's Basilica in Venice. CIMNE. Barcelona 1997.
–Tuutti. Corrosión of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute. CBI Research 4:81, 1982.