

de la construcción



MESA REDONDA

LA NUEVA INSTRUCCIÓN DE FORJADOS EF-96

Instituto Eduardo Torroja
Madrid, 6 de mayo de 1997

El día 6 de mayo se celebró en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja una mesa redonda sobre la nueva Instrucción de Forjados EF-96, organizada conjuntamente por el IETcc, el Sello de Conformidad CIETAN y la Asociación Nacional de Prefabricados y Derivados del Cemento (ANDECE), junto con la colaboración del Ministerio de Fomento y

del Ministerio de Industria, y presidida por el Ilmo. Sr. D. Manuel Martín Antón, presidente de la Comisión Permanente del Hormigón, por D^a M^a Carmen Andrade Perdrix, Directora del IETcc y por D. Antonio Cebrián Alarcón, Presidente de ANDECE.

La jornada, dirigida a fabricantes del sector de la prefabricación de forjados, supuso un éxito de participación, con una asistencia de más de 150 personas. En la misma, se

debió acerca de los aspectos más significativos de la nueva Instrucción, las modificaciones respecto de la anterior edición y las repercusiones que, sobre el sector de la prefabricación, se podrían derivar de su aplicación, para lo cual se contó con una nutrida representación del Grupo de Trabajo, que coordinado por D. Gonzalo Ramírez Gallardo, fue encargado por la Comisión Permanente del Hormigón de redactar la propuesta de Instrucción.

SEMINARIOS TORROJA sobre TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SUS MATERIALES

BÓVEDAS GÓTICAS ESPAÑOLAS: INFLUENCIA DEL TIPO EN SU ESTABILIDAD

Pepa Cassinello Plaza
16 enero 1997
Arquitecto

E.T.S. Arquitectura de Madrid

La mayor parte del siglo XX ha centrado sus debates en poner fin a la polémica planteada desde el XIX con la aparición de la teoría desarrollada por Viollet-Le Duc y

apoyada por Choisy: "El racionalismo estructural de la catedral gótica". Desde que en 1906 aparece la primera edición facsímil del manuscrito de Villard de Honnecourt, se potencia, desde muy diferentes puntos de vista, el estudio analítico sobre las mayores incógnitas históricas no desveladas: la constatación de la utilización de trazados geométricos como método medieval de dimensionado de elementos estructurales, así como la comprobación de la función estructural de elementos tan significativos como las nervaduras de las bóvedas o los propios

arbotantes. Estos aspectos han quedado despejados, en gran medida, debido a las investigaciones realizadas por Fitchen, Acland, Heyman, Billington, Mark..., aplicando muy diferentes métodos, algunos de ellos experimentales.

Pero hoy, a las puertas del siglo XXI la "Estabilidad" de las obras de fábrica continúa encerrando incógnitas sin resolver: ¿cuál es la actual forma y configuración constructiva de la catedral?, ¿cuáles las características físico-químicas y mecánicas de las actuales fábricas

pétreas?. Forma y materia han sufrido transformaciones a lo largo de los siglos, no sólo por las deformaciones sufridas por muy diversas causas, sino también por la continua superposición de estilos arquitectónicos de muy diferente configuración constructiva y estructural, así como de gran número de "restauraciones". Por estas razones los modelos físicos o matemáticos que utilizemos para cuantificar la estabilidad actual de nuestras catedrales han de estar basados en la compleja realidad actual y no en los supuestos estados primitivos.

La polémica planteada para el próximo siglo se centra ahora tanto en la definición del modelo como en el método analítico a emplear para garantizar el suficiente rigor científico de los resultados obtenidos. El trabajo documental, analítico y experimental que estoy desarrollando sobre las catedrales góticas españolas, clasificándolas en tipos estructurales en función de su específica configuración constructiva, permite un mayor acercamiento hacia la definición del modelo, que, en la mayoría de los casos, se aleja del "supuesto prototipo generalizado". Tal es el caso de las recientemente descubiertas bóvedas superpuestas de la catedral de Sevilla que dejan patente la necesidad de conocer, no la tensión media de sus plementos, sino la real distribución tensional sobre ellos, existiendo en este caso concentración de tensiones, no sólo en los propios pliegues o aristas del plemento debido a su forma geométrica, sino también a lo largo de las generatrices donde apoyan las bóvedas superpuestas a las de crucería, debido a la específica configuración constructiva existente.

Por otra parte, la reciente aplicación de la teoría de cáscaras que Heyman ha realizado sobre algunas bóvedas góticas como la de Reims no puede generalizarse como método analítico de los plementos pétreos de las catedrales góticas, entre otras razones, debido a la esbeltez comprobada en gran número de bóvedas españolas que se alejan enormemente del rango establecido en las hipótesis de Flugge.

El método de Elementos Finitos, diseñado para materiales actuales: homogéneos, continuos e isotrópicos, pese a su aplicación en las últimas décadas a diferentes tipos de obras de fábrica, no responde, desde sus propias hipótesis, a las características de las fábricas pétreas, pudiendo arrojar, por esta causa, distribuciones de tensiones y deformaciones que se alejen de la realidad. Por esta razón, y en busca de adaptar las

hipótesis de partida en la medida de lo posible, estamos realizando en el laboratorio INTEMAC algunos ensayos sobre fábricas pétreas de similares características a las medievales, para obtener un "rango de valores posibles" para todos aquellos parámetros que influyen, de modo significativo, en el comportamiento del modelo como su "deformabilidad" frente a la heterogeneidad. La obtención de dichos rangos nos permitirá aplicar el M.E.F. realizando un estudio de "sensibilidad" del modelo frente a los límites establecidos, permitiéndose una mayor racionalidad en la interpretación de los resultados obtenidos sobre las catedrales góticas seleccionadas.

* * *

EL DISEÑO ESTRUCTURAL CON MADERA A FINALES DEL SIGLO XX: RAÍCES Y TENDENCIAS

Miguel Ángel Rodríguez Nevado
30 enero 1997

Dipl. Arquitecto

KHITARIS, Salamanca

La madera, de alguna forma, llegó tarde a la explosión del desarrollo del cálculo estructural del siglo XIX. Como muchas veces en la historia reciente del material, fueron las deficiencias inmanentes de *otros materiales* (acero, hormigón...) las que potenciaron la aplicación del conocimiento acumulado durante el siglo anterior a la madera. En los años 20, fue gracias a la penuria y coste del acero y el cemento. Ello es así hasta el punto de que A. Jackson, un ingeniero alemán que había publicado uno de los primeros manuales de diseño estructural con madera de carácter "moderno" desde el punto de vista de la comprobación estática, declara en una reunión en Suiza, en 1922: "Los conocimientos teóricos y las experiencias de construcción acumuladas en el curso de 70 años de construcción metálica se ofrecen hoy a la construcción en madera como un fruto maduro".

Desde el hecho de que el material, por su propia naturaleza heterogénea era difícilmente comprensible dentro de los mecanismos iniciales del análisis estático, hasta cuestiones como el que los sistemas de comercialización y valoración de las estructuras de madera, conforme a tradiciones que se hundían en la Edad

Media, no favorecían la aplicación de esfuerzos tecnológicos en la dirección de la reducción de volúmenes de material (al contrario de lo que ocurrió con un material *costoso* por su propia naturaleza, como era el acero), han sido algunas explicaciones dadas a la situación. A mi juicio, otro factor no suficientemente apuntado, es el del enfoque excesivamente positivista de la evolución de la ingeniería civil a lo largo del siglo XIX. Este positivismo generó una cierta miopía, que excluyó (no consciente ni taxativamente, pero sí significativamente) al mundo de la madera del *tren* del desarrollo de la ciencia estructural. Las tradiciones constructivas de la carpintería de armar eran demasiado complejas de analizar con las herramientas que estaban creando científicos como Coulomb o Ritter. Precisamente, la madurez a la que había llegado la concepción de estructuras de madera de una forma autónoma, le hizo permanecer al margen de los citados desarrollos.

Sea ello como fuere, lo cierto es que, al igual que el hormigón armado imitó las tipologías estructurales propias de la madera, muchas décadas antes de encontrar los tipos propios de su ser, así la madera, desde su *relanzamiento* en los años 20, de la mano de la ciencia estructural desarrollada en el XIX, imitó los tipos que se habían concebido como destinados a la estructura metálica. Posteriormente, ha ido evolucionando hasta reencontrarse con su propia historia *preindustrial*, a finales del siglo XX, y merced, precisamente, a los frutos de la tecnología estructural más avanzada, como son, dentro de la vertiente conceptual, los enfoques probabilísticos de la seguridad (que acercan el diseño estructural al carácter esencialmente probabilístico de la Naturaleza) o, también, el desarrollo de procedimientos de análisis numérico, en el orden instrumental (financieramente viable con la generalización de los ordenadores personales).

Podemos rastrear la evolución de dos concepciones estructurales básicas. Por un lado, el elemento de pórtico rígido o semirígido plano, y, por otro, la triangulación plana isostática. Tomando la clasificación con la suficiente generalización, se trata de ver cómo ha evolucionado la solución estructural con madera, según se ha hecho primar al esfuerzo de flexión, o al esfuerzo axial, y cómo del continuo cruce entre ambos conceptos van evolucionando los tipos estructurales.

Desde mediados del XIX se habían construido propuestas de construcción triangulada complejas, vinculadas a la necesidad de andamiajes de cada vez mayores prestaciones estructurales. Esto, junto a la generación de algunos sistemas patentados (como los sistemas de trillaje, a su vez basados en algunos procedimientos de entramados bávaros), clarificó el panorama en la dirección de la obtención de formas de sección económica, dando lugar finalmente a una serie de respuestas en madera a las triangulaciones básicas habituales en la construcción metálica (Warren, Pratt y similares). Dichas formas han ido sufriendo adaptaciones básicamente vinculadas a la aparición de sucesivos sistemas de organización denudos, algunos de ellos derivados de los avances correspondientes en el conocimiento de la reología del material.

El paso a la tercera dimensión ha seguido a lo largo del siglo XX dos caminos más o menos definidos. Una dirección surge de forma inmediata de la superposición de formas trianguladas planas con algunos de sus cordones comunes. En esta línea se crean las grandes jácenas cajón de algunas infraestructuras viarias actuales, o las plegaduras abiertas destinadas a las grandes superficies. Asimismo, en esta línea se englobarían torres exteriores realizadas con elementos lineales huecos complejos (realizados, a su vez, con plegaduras). El otro camino ha sido el de la generalización de los arriostramientos entre cerchas paralelas, hasta crear estructuras estrictamente tridimensionales. Algunos de los primeros pasos estaban inspirados por una simplificación de los complejos entramados de los chapiteles renacentistas y barrocos. El desarrollo de juntas estructurales más sofisticadas permitió la aparición de entramados esencialmente planos en mallas fundamentalmente tetraédricas, que finalmente han llegado a jugar un importante papel en las grandes luces.

Los entramados semirrígidos planos, tal y como actualmente se están desarrollando, han evolucionado también de una especie de *clarificación* de las tradicionales carpinteras tal y como se conocían a principios del XIX.

Los sistemas de arcos habían recibido un tratamiento interesante en los ss. XVI y XVII, y en el XVIII se habían propuesto ya estructuras basadas en sistemas de flexocompresión para salvar vanos de 120 metros. La aparición de la madera laminada *encolada* en el siglo XX, como extensión

natural de la madera laminada *clavada* (tipo en uso desde centurias atrás), multiplicó, de manera inmediata, las posibilidades del diseño estructural en base a los arcos, siendo actualmente algunas de las líneas más interesantes estéticamente, aquéllas que modifican los tipos estructurales en orden a incrementar la estabilidad reduciendo el volumen del material. Resultan también atractivas las experiencias que apuntan a las posibilidades futuras de estos sistemas en las infraestructuras viarias.

El paso a la tercera dimensión más inmediato se dio ya en época medieval, obviamente, por la repetición de formas curvas. En nuestro siglo podemos trazar una línea clara que enlaza las cúpulas nervadas, sus requerimientos de arriostramiento transversal y la posterior toma de protagonismo de dicho arriostramiento hasta configurarse como una cúpula geodésica de elementos lineales de madera, procedimiento por el que se han alcanzado algunas de las mayores luces cubiertas existentes (162 metros de diámetro a finales de los años 80).

La generalización tridimensional (sea por el cauce del arriostramiento sistemático, o por la observación del comportamiento estructural *autónomo* de los órdenes cruzados de entablado superpuesto) llevó a la carpintería de armar a la percepción intuitiva del comportamiento laminar, mucho antes de que éste fuera formulado analíticamente. De hecho, antes del siglo XIX, se habían construido ya estructuras de madera que, estrictamente, funcionaban en régimen de membrana, aunque quienes las construyeron no lo interpretaban así. Los métodos de análisis por ordenador, al ser fecundados con las tradiciones referidas, han abierto uno de los campos más prometedores del diseño estructural con madera. Algunos de los primeros pasos se dieron vinculados a la creación de los tableros contrachapados, que permitieron la fabricación de sistemas de membranas cilíndricas especialmente eficaces. A lo largo del siglo se han realizado diversas experiencias en el campo de las membranas de doble curvatura, cuyas experiencias más recientes se centran en el uso de elementos sencillos de madera maciza. Los dos grandes campos en que se puede dividir este área de actividad, serían las estructuras de expresión analítica simple (hiperboloides, paraboloides, etc.) y compleja, pudiéndose encontrar de ambas tanto ejemplos construidos de potente atractivo, como enormes posibilidades de desarrollo futuro.

La evolución de las mallas tridimensionales ortogonales semirrígidas, desde el punto de vista europeo, como ya he dicho, ha realizado una especie de viaje de ida y vuelta. Norteamérica recibió lo mejor de las tradiciones tipológicas europeas a lo largo de los ss. XVII y XVIII. Al añadir a estos sistemas el uso sistemático de los clavos (a partir del momento en que se pudieron fabricar industrialmente) y de tableros contrachapados, se crean los conocidos y extendidos sistemas de entramado *platform* y *balloon*. En Europa, desde los años 50, se han retomado estos sistemas, teniendo algunos de los exponentes más interesantes en las actuales experiencias de viviendas de más de tres plantas con entramados ligeros. Otro camino fue el seguido por las estructuras propiamente reticulares (en esencia, los entramados ligeros son estructuras laminares planas). A partir de algunas experiencias (hijas, una vez más, de una *clarificación* de la experiencia multisecular previa), en los años 20 y 30, se han propuesto diversos sistemas prototípicos. Paralelamente, ha habido diversas experiencias que han demostrado el potencial de flexibilidad arquitectónica que el material, cuando al análisis profundo de la tradición se le añade flexiblemente el conocimiento científico disponible. Estas dos son las sendas en las que se dividirán las experiencias próximas en el campo del diseño estructural en madera: la creación de prototipos integrales industrializables y el desarrollo de sistemas flexibles capaces de constituirse en herramientas de diseño sistemáticas, pero no coercitivas.

Al principio de esta exposición, indicaba que la carencia de cemento y acero en la primera posguerra europea, potenció el uso *científico* de la madera como componente estructural. En este final de siglo, el problema del abrumador desgaste de recursos implícito en el uso de materiales constructivos *tradicionales* (al menos, tradicionales en nuestros entornos): recursos energéticos absorbidos, el agua consumida, los recursos dilapidados en la lucha contra las emisiones tóxicas (CO₂ y SO₂, especialmente vinculadas a la producción de acero y cemento) o la recuperación de los recursos finalizada la vida útil de la construcción (quasi nula en el caso del hormigón o materiales cerámico y pequeña en el del acero): En cualquiera de estos aspectos, hay una manifiesta superioridad de las estructuras de madera balance de emisiones de CO₂ negativo en la vida total del material, mínimas emisiones de otros órdenes, bajo consumo energético (así como de otros recursos

cada vez más problemáticos, como el agua) de los procesos productivos asociados, óptima aprovechabilidad posterior a la vida económica del producto.

El elevado nivel tecnológico alcanzado en la construcción con madera (apuntado brevemente en las imágenes proyectadas), desde el punto de vista de las *herramientas*, y la consideración de la argumentación ecológica, desde el punto de vista de los *motivos*, permiten augurar un nuevo amanecer de las estructuras de madera en el siglo XXI.

* * *

EXPANSIÓN POR HUMEDAD EN FORJADOS Y FÁBRICAS DE LADRILLO

Eduardo Gómez López

Dr. Ing. de Caminos

Federico de Isidro Gordejuela

Arquitecto

13 febrero 1997

Colegio Universitario CEU - Arquitectura Madrid

I PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN POR HUMEDAD. CAMPAÑA DE ENSAYOS REALIZADA

Se presentan dos tipos de ensayos: de larga duración, para la determinación del comportamiento de las cerámicas a lo largo del tiempo, expandiendo de forma natural, y acelerados, para obtener una correlación con el valor máximo de expansión esperado. La campaña de ensayos abarca a 20 ceramistas.

En el caso de la determinación de la expansión natural se determinan las expansiones en tres condiciones ambientales (100 % de HR, condiciones de laboratorio y expuestas a la intemperie), utilizando 6 probetas por cada condición. Se toman unas 50 medidas en cada probeta a lo largo del ensayo. El procedimiento experimental consiste en determinar las variaciones de medida debidas a la expansión que, por efecto de humedad, experimentan una serie de probetas de material cerámico, una vez que se ha realizado el máximo acortamiento posible tras un ciclo de desecado y recocado de dicho material, que tiene por objeto restituir las condiciones a la salida del horno. La

preparación de las probetas, la toma de medidas, el ciclo de acortamiento por recocado, los criterios de corrección para minimizar el efecto de la dilatación térmica o del desgaste de los aparatos de medida y el procedimiento seguido en los distintos tipos de ensayos de expansión han sido objeto de investigaciones previas. La precisión del aparato de medida es de 0,001 mm.

En el caso de los ensayos de expansión acelerada, se han utilizado tres procedimientos: expansión en autoclave a alta presión (según UNE 67036-86), expansión en agua hirviendo (según UNE 67036-86) y expansión en vapor de agua, en ausencia de presión. Los ensayos de expansión en agua hirviendo sirvieron para determinar el procedimiento operativo de la norma UNE 67036-94.

Se ha estudiado también la influencia de la temperatura máxima de cocción del material en la expansión.

2 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten sacar las siguientes conclusiones:

No existe un modelo de comportamiento genérico aplicable al fenómeno de la expansión. Los datos obtenidos permiten determinar, magnitud de las expansiones y forma de crecimiento, fabricante a fabricante.

Sólo se encuentran correlaciones razonables entre los valores de expansión natural y los procedimientos acelerados en agua hirviendo y vapor de agua (en la mayoría de los casos, la desviación entre los valores de ambos es inferior a 20 %). El método del autoclave no permite encontrar dichas correlaciones.

Los valores encontrados en expansión natural son mayores en ambientes húmedos, aunque un 20 % de las cerámicas da valores de expansión mayores en otras condiciones.

Debido a que una fracción importante de la expansión aparece en las primeras semanas, es conveniente humedecer el material y mantenerlo acopiado un tiempo, antes de ser colocado.

Los valores máximos de expansión indican que deben acortarse las longitudes entre juntas de dilatación, especificadas por la norma NBE-FL-90, en el caso de utilizar muros de ladrillo. También debe

revisarse el límite máximo de expansión permitido, en el caso de bovedillas cerámicas, siempre a valores más bajos.

La temperatura de cocción del material influye en el grado de expansión. Se encuentra un valor máximo de expansión en una determinada temperatura, disminuyendo éste en temperaturas de cocción situadas por debajo y por encima de aquélla. Las variaciones pueden ser importantes en un rango de ± 50 °C alrededor de dicha temperatura.

* * *

LA RADIACIÓN SINCROTRÓN EN CIENCIA DE MATERIALES. Parte II.

(Aplicaciones a la química del cemento)

Javier Turrillas Maisterra

Dr. Ciencias Químicas

Instituto Eduardo Torroja, Madrid

En el Seminario anterior (Informes de la Construcción, n° 447) se dio una panorámica general de las diversas modalidades de utilización de radiación o luz sincrotrón, susceptibles de ser empleadas en diferentes campos de la ciencia de materiales, así como los fundamentos de las mismas. En esta segunda parte se vieron ejemplos concretos del uso de dos técnicas: EXAFS y difracción resuelta en energía.

En primer lugar, se mostraron las posibilidades de EXAFS en la determinación de la estructura amorfa del gel de hidróxido de zirconio. Se dedujo el orden estructural promediado a corta distancia, hasta unos 9 Å del gel recientemente precipitado y del deshidratado u oxolado en el que se observa un colapso parcial de puentes hidroxilo para formar puentes oxo. La técnica permitió la estimación de las distancias interatómicas y la coordinación de los iones de zirconio.

Muestras de cemento Portland se hidrataron a temperaturas controladas en recintos cerrados, mediante difracción resuelta en energía y en tiempo real; se siguió la reacción mientras se detectaba la presencia, crecimiento y descomposición o transformación de las fases cristalinas. Una de las varias constataciones fue que la etringita desaparecía por encima de los 70 °C aproximadamente.

También se dio una panorámica de la hidratación de algunos cementos aluminosos. Se describieron las reacciones de hidratación de forma cuantitativa, siguiéndola (siempre en tiempo real) a través de la evolución de las intensidades de difracción del monoaluminato de calcio.

En lógica consecución, los experimentos se extendieron al estudio de la fase pura de monoaluminato de calcio, obteniéndose parámetros de la cinética de hidratación (constantes de reacción y energía de activación entre 70 °C y 90 °C) que se interpretaron como consistentes con un modelo de reacción en estado sólido, controlada por la difusión del agua. Además se constató, de forma consistente, la presencia del octahidrato aluminato-cálcico, justo antes de la aparición de las primeras cristalitas del hidrogenato aluminato-cálcico, lo que indica un papel fundamental de esta fase en el mecanismo de la reacción.

Otro componente minoritario del cemento Portland, monoaluminato tricálcico, también fue analizado. Su hidratación es muy rápida, incluso a temperatura ambiente. Es, pues, un reto para la técnica de difracción resuelta en energía. Experimentos realizados en el ESRF de Grenoble claramente demostraron -gracias a la posibilidad de obtener difractogramas cada segundo- que la hidratación del monoaluminato tricálcico a hidrogenato aluminato-cálcico transcurre a través de un hidrato intermedio que emerge y desaparece en un minuto escaso.

La conocida conversión del decahidrato aluminato-cálcico al hidrogenato, fundamental en el fraguado del cemento aluminoso, fue analizada a temperaturas constantes entre 60 °C y 90 °C. De forma similar se pudieron determinar cinéticas de reacción, consistentes con esquemas de reacción en estado sólido. Además, se constató otro hecho; la presencia, hasta ahora cuestionada, de un intermedio, el octahidrato aluminato-cálcico, durante la conversión por encima de 60 °C. Ciertamente se vio que aparecía a todas las temperaturas estudiadas, aunque muy efímeramente a 90 °C.

Por último, se mostró un caso de transformación hidrotermal, seguida en tiempo real, mediante difracción en energía; la deshidratación del sulfato de calcio dihidratado para dar el correspondiente hemihidrato. Fue posible determinar la cinética de esta reacción entre 120 °C y 150 °C, utilizando para ello las intensidades integradas de las reflexiones de difracción.

Se concluyó diciendo que la difracción resuelta en energía con radiación sincrotrón es sumamente versátil para el estudio de reacciones heterogéneas en las que están involucradas fases cristalinas. El poder llevarse a cabo en reactores, bajo condiciones variadas de temperatura y humedad, la hace ideal para estudiar en tiempo real y en condiciones iguales a las que se dan en la realidad durante el fraguado del cemento.

* * *

PROBLEMAS DE VIENTO Y SISMO EN EL PROYECTO DE GRANDES PUENTES

Miguel Ángel Astiz Suárez
13 marzo 1997

Dr. Ing. de Caminos

E.T.S. Ing. Aeronáuticos, Madrid

El proyecto de grandes puentes, ya sean éstos de gran luz o de gran longitud, requiere el estudio minucioso de los efectos del viento y del sismo, ya que su respuesta ante estas acciones puede apartarse apreciablemente de lo que se considera el comportamiento convencional.

En el caso del viento existen varios fenómenos que se ven condicionados en algunos casos por las dimensiones globales del puente y otros por su flexibilidad. Los efectos de la turbulencia se estudian resolviendo las ecuaciones del movimiento en el dominio de la frecuencia para tener en cuenta, simultáneamente, la coherencia espacial y temporal de las acciones del viento. Este tipo de estudio resulta imprescindible en puentes de gran luz. De entre los fenómenos aeroelásticos, los más importantes en relación con puentes de gran luz son los de flameo y de divergencia torsional. El estudio de estos fenómenos requiere el conocimiento de algunas propiedades aerodinámicas del tablero que se determinan, usualmente, a través de ensayos de túnel de viento, aunque existen ya herramientas numéricas que permiten sustituir el ensayo, a estos efectos. También se analiza el fenómeno de desprendimiento de remolinos, que ha demostrado ser importante, no solamente en puentes de gran luz, sino también en puentes de luz moderada, tanto por sus efectos sobre los usuarios del puente como por sus posibles consecuencias en términos de fatiga de los materiales.

Un punto que se ha destacado es la creciente importancia que tiene la consideración del nivel de comodidad de los usuarios del puente, que se consigue reduciendo las vibraciones y la velocidad del viento en aceras y calzada. Para llevar a cabo estos estudios se utilizan cada vez más los métodos numéricos (elementos finitos o diferencias finitas).

En el caso de las acciones sísmicas se ha destacado el desarrollo espectacular que han tenido en los últimos años los dispositivos de amortiguamiento en puentes. Los viaductos de gran longitud son los que más se benefician de este desarrollo.

A lo largo de la conferencia se presentaron ejemplos de aplicación, referidos a proyectos recientes, desarrollados en Carlos Fernández Casado, S.L. como los puentes de Gibraltar, de Papaloapan (México), de Lowry (Manchester) o de Tacagua (Venezuela).

* * *

FIABILIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES. APLICACIÓN AL ESTUDIO DE PUENTES

Ángel Arteaga Yriarte

Dr. Ing. de Caminos

Peter Tanner

Ing. de Caminos

20 marzo 1997

Instituto Eduardo Torroja

En la evaluación de la fiabilidad que presentan las estructuras existentes para las condiciones actuales y futuras de uso es necesario abordar problemas distintos de los que sería necesario resolver en el diseño de estructuras similares. En el caso de una estructura de nueva construcción, la fiabilidad se puede considerar como una característica del proyecto, ya que depende de parámetros que deben estar definidos en las correspondientes normas de dimensionamiento en vigor. Cualquier declaración sobre la fiabilidad de una estructura existente, al contrario, es subjetiva y depende del estado de conocimiento de la persona que la formula.

La evaluación de estructuras existentes se presta a un procedimiento por fases, pasando de una a la siguiente si en ella no es posible llegar a una conclusión

inequívoca con respecto a la fiabilidad de la estructura analizada.

1. Evaluación con métodos semiprobabilistas, basada en la recopilación de la información disponible sobre la estructura.
2. Evaluación con métodos semiprobabilistas, basada en la información actualizada sobre la estructura.
3. Evaluación con métodos probabilistas, basada en la información actualizada sobre la estructura

En primer lugar, en la ponencia, se introducen los conceptos fundamentales y se presentan los distintos niveles de evaluación de la fiabilidad: desde los más complejos, puramente probabilistas, basados en los conceptos de riesgo y probabilidades de fallo, hasta llegar a los denominados de coeficientes parciales o semiprobabilistas, propios de las normas, basados en los valores de diseño.

Se introduce también el *índice de fiabilidad*, como medida de la fiabilidad de una estructura y relacionado con las probabilidades de fallo de la misma. Pero el valor de este índice sólo tiene un significado limitado, por lo que la evaluación de una estructura existente se puede efectuar de acuerdo con el *axioma* de que la aplicación correcta de la normativa en vigor conduce a

estructuras fiables. Siguiendo este axioma, la comprobación de la fiabilidad de una estructura existente requiere los siguientes pasos:

.Dimensionamiento de la estructura considerada de acuerdo con un conjunto consistente de normas.

Cálculo del índice de fiabilidad β_{norma} de la estructura así dimensionada, considerando los parámetros de las variables que se han tenido en cuenta en las normas mencionadas.

.Cálculo del índice de fiabilidad β de la estructura existente, considerando los valores actualizados de los parámetros de las variables.

La estructura o el elemento estructural tiene una fiabilidad suficiente si cumple $\beta \geq \beta_{norma}$.

Para dos puentes reales se muestra cómo es posible poner en práctica el procedimiento descrito. El primer ejemplo se refiere a un puente roblonado de hierro del siglo pasado, muy deteriorado por la corrosión. El segundo es un puente de hormigón en masa de los años veinte del presente siglo, afectado por el descenso de uno de los pilares.

con la subsiguiente formación de grietas en los elementos estructurales principales (bóvedas).

Los dos ejemplos ponen claramente de manifiesto los beneficios que se pueden obtener al aplicar, en la evaluación de puentes existentes, el procedimiento propuesto, incluyendo, por supuesto, métodos probabilistas. En términos generales, éstos son:

.Sólo la aplicación de métodos probabilistas permite cuantificar la influencia de la actualización de los datos disponibles sobre una estructura.

.Es herramienta fundamental en la toma de decisión sobre actuaciones en estructuras existentes.

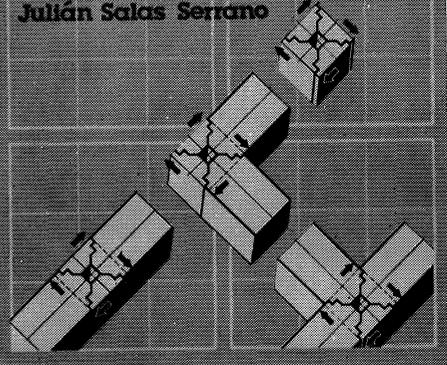
.El procedimiento propuesto permite reducir el número de ensayos y de mediciones *in situ* a un mínimo.

.El procedimiento contribuye a evitar intervenciones no justificadas sobre el tráfico, así como evitar cierres, refuerzos, rehabilitaciones y sustituciones innecesarias de estructuras existentes..

.Es posible optimizar los recursos disponibles.

* * *

Publicaciones del Instituto Eduardo Torroja-CSIC

<p>Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.</p>	<p>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA? Julián Salas Serrano</p> 	<p>SUMARIO: Prólogo Prof. G. Ciribini.</p> <p>Introducción</p> <p>Capítulo 1.—La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.</p> <p>Capítulo 2.—¿Réquiem por la construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 3.—Algunos conceptos básicos.</p> <p>Capítulo 4.—¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 5.—Componentes.</p> <p>Capítulo 6.—La coordinación dimensional hoy.</p> <p>Capítulo 7.—Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.</p> <p>Capítulo 8.—Industrialización, normativa y calidad.</p> <p>Capítulo 9.—Reflexiones finales.</p> <p>publicación del INSTITUTO EDUARDO TORROJA</p>
<p>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA? JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.) Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 x 168 mm. Encuadernado en rústica.</p>		