



Enrique ALARCÓN

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Académico Numerario de la Academia de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS	15
REFERENCIAS	17

*¡Ah, cuando yo era niño
soñaba con los héroes de la Iliada!*

***Proverbios y cantares
A. Machado. 1912***

El 27 de agosto de 1999 se cumplieron los 100 años del nacimiento de **Eduardo Torroja Miret** (1899-1961), a cuya memoria va dedicada esta reunión conjunta de la Real Academia de Ciencias, a la que perteneció, y de la Academia de Ingeniería.

La vida de Torroja transcurre en una de las etapas más agitadas de la historia española, pero también en una de las más fructíferas desde el punto de vista ingenieril.

Es la época del desarrollo del hormigón armado y de los primeros pasos del pretensado [1]. Este, junto con las construcciones laminares, constituyen según **Fernández Ordóñez** [2] las dos aportaciones más importantes del s. XX a la construcción. Pues bien: Torroja, formado en Hidrocivil a la sombra de **J. Eugenio Ribera** (1864-1936), el gran promotor del desarrollo del hormigón armado en España, participa en ambos movimientos, en los que llega a ostentar la presidencia de las correspondientes Asociaciones Internacionales. Entre 1927, fecha en que organiza su propio estudio independiente, y 1936, construye lo mejor de su producción, donde caben destacar las obras que lo transforman en el maestro indiscutido de las estructuras laminares: el mercado de Algeciras (1933), probablemente la primera aplicación del pretensado a láminas, la estructura del hipódromo de la Zarzuela (1935) y el frontón Recoletos (1935).

En todos los casos se aplican soluciones originales, armoniosas y atrevidas que le sitúan en la cumbre profesional nacional (hasta el punto de que en febrero de 1936 se le organiza un homenaje dirigido por el propio Ribera) y le lanzan allende nuestras fronteras como una figura de la categoría del francés **Freyssinet** (1879-1962), el suizo **Maillart** (1872-1940) o el italiano **Nervi** (1891-1977).

Tras la guerra, Torroja hace viable la construcción del viaducto de Martín Gil (1939-1942), que desde el punto de vista estructural es la obra simbólica que enlaza con el período anterior: las ideas clásicas de Ribera (armadura rígida) se combinan con nuevas técnicas constructivas (apertura en clave) para dar lugar a una estructura majestuosa que fue récord mundial.

Ese isótopo de los viejos tiempos deja paso a nuevas ideas, como el pretensado en el viaducto de Allos o las estructuras mixtas de los puentes de Tordera, Muga y Posadas, temas que alcanzarán desarrollos inusitados [3].

La labor de Torroja a partir de ese momento es múltiple: como **proyectista** contribuye a la introducción del pretensado en España; su autoridad en este campo es tal que fue elegido presidente de la Federación Internacional de Pretensado. Como **profesor** introduce las teorías anelásticas de hormigón armado, en las que trabaja desde 1943; sintetiza sus conocimientos de filosofía del proyecto estructural en su famosa obra “*Razón y ser de los tipos estructurales*” (1957), que es inmediatamente traducida al inglés y posteriormente a todos los idiomas cultos, y establece un esquema de las enseñanzas de la mecánica estructural que ha sido seguido hasta nuestros días por la mayoría de las escuelas de ingeniería españolas.

Como **investigador**, en colaboración con **Alfredo Páez** (1917), elabora la teoría semiprobabilista de la seguridad desde 1945, siendo elegido presidente del “Joint Committee for overloads and safety factor”. Además patrocina la aparición de empresas nacionales para la actividad investigadora o de desarrollo de laboratorios.

En este sentido fructifica la experiencia anterior a la guerra civil en relación con los ensayos en modelo, gracias a los cuales el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción del Ministerio de Obras Públicas adquirió renombre mundial, al desarrollar el Instituto de la Construcción creado en 1934 por Eduardo Torroja y **José M^a Aguirre** (1897-1988).

Anticipando, en una época realmente difícil, el movimiento de internacionalización que hoy estamos viviendo, el Instituto de la Construcción se transforma en un foco por donde desfilan los investigadores extranjeros más prestigiosos y en un lugar de encuentro donde la profesión discute su puesta al día, siendo en este sentido dignos de recordar los esfuerzos de actualización de la normativa.

Torroja había participado en la elaboración de las Instrucciones para el Proyecto de Obras de Hormigón que, con alguna variantes, llegó a su octava edición en 1963, y asumió desde el Instituto de la Construcción la labor de llevar a cabo una normativa moderna. El resultado para el hormigón fue la llamada Instrucción HA-61 (1957), donde se recoge toda la teoría anelástica y semiprobabilista que Torroja y Páez habían desarrollado en años anteriores. Tanto el contenido como la presentación (llena de comentarios y apéndices explicativos) tuvieron una repercusión inmediata, dando lugar a un debate intenso entre proyectistas y constructores que produjo una revolución conceptual tan importante como la provocada por la propia aparición del material “*hormigón armado*”. De la misma forma el Instituto organizó una Norma moderna de cálculo de estructuras metálicas bajo el título EM62, donde el colaborador principal fue **Juan Batanero** (1914-1983), también discípulo de Torroja y gran especialista en el tema.

Como **publicista** cabe citar la creación de la revista del Instituto, “*Informes de la Construcción*”, así como la de la Asociación Internacional de Estructuras Laminares y especiales (IASS), de la que era Presidente.

No es extraño, por tanto, que el recuerdo de su figura haya concitado un amplio movimiento en el que participan diferentes organizaciones, poniendo de manifiesto los ámbitos en que dejó su huella.

Algunos han ponderado la brillantez de su primera etapa y han menospreciado su actividad tras la guerra civil. Creo, sin embargo, que la segunda parte de su vida es tan atractiva como la primera y que para muchos, entre los que me encuentro, constituye un ejemplo a seguir.

Precisamente esta sesión conjunta de la Academia de Ingeniería y de la Real Academia de Ciencias se plantea no como pura **celebración** hagiográfica sino como **conmemoración**, es decir, como oportunidad para reflexionar sobre los temas en los que Torroja tuvo la capacidad de ser precursor y para, tras recordar sus contribuciones, analizar la situación actual.

La estructura de la jornada se ha planteado mediante dos mesas redondas y dos conferencias.

Con la primera mesa redonda se desea trazar un bosquejo bibliográfico.

Cajal [4] aseguraba que “*Los genios, como las cumbres más elevadas, surgen solamente en las cordilleras...*”, y esta es la particularidad que va a desarrollar **Jaime Torroja** enmarcando la figura de su tío en el conjunto familiar distinguido por su actividad científica en los más variados campos y siempre a una altura excepcional.

Por otro lado, Torroja tiene una personalidad misteriosa para los que no lo conocimos. Nadie mejor que su hijo **José Antonio**, heredero directo en la oficina técnica y en la cátedra, para iniciar el bosquejo biográfico al que aporta entrañables detalles inéditos.

El dibujo se completa con las visiones de **Juan-Miguel Villar Mir** y **Bruno Thürlimann**, que tratan desde polos complementarios la influencia que sobre la técnica nacional e internacional tuvo la actividad del maestro.

A los 47 años leía Torroja el discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias [5], donde le había llevado su trabajo sistemático y original. **Gregorio Millán** hace en la primera conferencia una descripción de su actividad académica que pondrá de manifiesto su adaptación al lema “*observación y cálculo*”, base de todas sus aportaciones, tratadas de forma más individualizada en la siguiente mesa redonda.

Lo fascinante en la actividad de Eduardo Torroja tras la guerra civil es su capacidad para prever las direcciones en que se iba a mover la actividad constructora: la internacionalización, la reconsideración de las bases de cálculo, el estudio en laboratorio de los nuevos materiales, la instrumentación de obras, el desarrollo de la normativa, etc. En todos estos campos existen aportacio-

nes de la escuela por él creada y en todos dejó una huella que ha afectado la trayectoria de varias generaciones de estructuralistas españoles.

En las siguientes mesas redondas se trata, como se dijo, de honrar su memoria reflexionando sobre el sentido que han tomado los acontecimientos y considerando hasta qué punto algunos de los temas siguen siendo actuales o cómo han cambiado los objetivos iniciales.

En su discurso de ingreso, Torroja se centraba en las nuevas teorías sobre la resistencia del hormigón, de modo que es justo comenzar por la descripción que hace **Manuel Elices** sobre la Ciencia de Materiales tal como se concibe en la actualidad. A continuación **Eduardo Alonso** plantea la importancia actual de los modelos físicos en los que tanto se basó el homenajeado para dimensionar estructuras de cálculo difícil y de la instrumentación de obras reales mediante un ejemplo bien significativo, la presa de Canelles.

La reconsideración de las bases teóricas para el establecimiento de la seguridad de las estructuras es otro de los campos ejemplares: se supo ver un problema, captar los movimientos internacionales que se iniciaban, dar una propuesta ingenieril y científica y crear una escuela que dio frutos tanto en España como en el extranjero con el famoso curso de **Ferry Borges** en Lisboa. **Enrique Castillo** describe el tema y plantea algunas interrogantes sobre la investigación futura.

Torroja no ocultaba su predilección por el hormigón, “*material adecuorresistente*”, pero ello no le impedía ver las enormes posibilidades del acero, sobre todo de la combinación inteligente de muchos materiales en lo que luego se han denominado estructuras “*mixtas*”. **Javier Rui-Wamba**, por su parte, disecciona el puente de Tordera, que junto con los de Muga y Posadas son una muestra de su capacidad premonitoria en una época tan difícil como 1939.

No hay que olvidar que Eduardo Torroja era un calculista riguroso, como se observa en la famosa memoria sobre la lámina del frontón Recoletos, alguna de cuyas figuras han sido utilizadas para componer el tríptico anunciador de esta jornada y la portada de este libro.

Precisamente **Miguel Ortiz** describe cuál es la situación actual en el modelado numérico de estructuras laminares mediante el método de elementos finitos que, como se sabe, fue inventado precisamente para resolver este problema.

Torroja es, finalmente, el sistematizador de la enseñanza de los métodos de cálculo. Arrancando de una tradición que pasa por **Saavedra**, **Echegaray** y **Zafra**, selecciona como columna vertebral los métodos energéticos y plantea una estructuración de materias que se ha prolongado hasta nuestros días. En mi comunicación intentaré describir someramente la enorme reconsideración que la aparición del ordenador ha provocado, así como algunos campos recientes de investigación.

Como prueba de ello, y en **homenaje** a una lámina hoy desaparecida¹, se incluyen aquí los resultados del análisis de una obra que el propio autor consideraba no susceptible de cálculo. La geometría ha sido interpolada a partir de las curvas de contorno bien definidas en la ref. 1 y se ha supuesto una estructura semejante a la de la iglesia de Pont de Suert, con tres capas de rasi-lla y armado ligero en el trasdós.

Se han hecho los cálculos correspondientes a peso propio y viento en dos direcciones. Tanto el modelo geométrico como los estados de carga se han simulado mediante un programa de elementos finitos comercial sin necesidad de apuntar ninguna formulación especial. Se trata simplemente de un estudio lineal que podría ser extendido con algo más de esfuerzo para incorporar la plastificación y posibles inestabilidades. La rapidez de cálculo prueba que el proyectista actual dispone de una herramienta que le permite la optimización de la estructura aunque, por supuesto, sirve de poco si no se posee la genialidad de diseño.

Finalmente, aunque no ha sido posible incorporarla a esta publicación por el fallecimiento de su autor, la Jornada se cerró con una magnífica conferencia “*Eduardo Torroja. El funcionalismo poético*” en la que J.A. Fernández Ordóñez da la visión de aquél como constructor. Utilizando sus propias palabras [2]: “... *nuestra intención es volver la mirada hacia el pasado, considerado no como hechizo, sino como continuo descubrimiento de unos contenidos siempre renovados y como iluminación de nuestro trabajo futuro, con la esperanza de que, en medio de tanta miseria y trivialidad, nunca abandonemos la utopía de unir la técnica y la fantasía*”.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dejar aquí constancia de mi agradecimiento a los compañeros Paloma Retana (Dr. Ingeniero Industrial) y Alberto Fraile (Dr. Ingeniero Industrial) del Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica (CEMIM) por su colaboración en el montaje del libro. Alberto llevó a cabo, además, el modelo de la capilla de Sancti Spirit, alguno de cuyos resultados se incluyen en este capítulo.

José María Sancho (Prof. Dr. Arquitecto) y D. Antonio Martínez Cutillas (Prof. Dr. Ing. Caminos) han tenido la amabilidad de leer el texto y aportar precisiones y correcciones que se les agradecen profundamente.

1. Hace aproximadamente un lustro, el movimiento ecologista del valle de Bohí consideró impropio la presencia en el Parque Nacional de Aigües Tortes de esta capilla, que Salvador Tarragó considera la más lograda de las de Torroja y que llevaba allí cuarenta años. La obra fue derruida y el altar trasladado a la Iglesia de San Clemente de Tahull, donde preside la nave derecha de la misma.

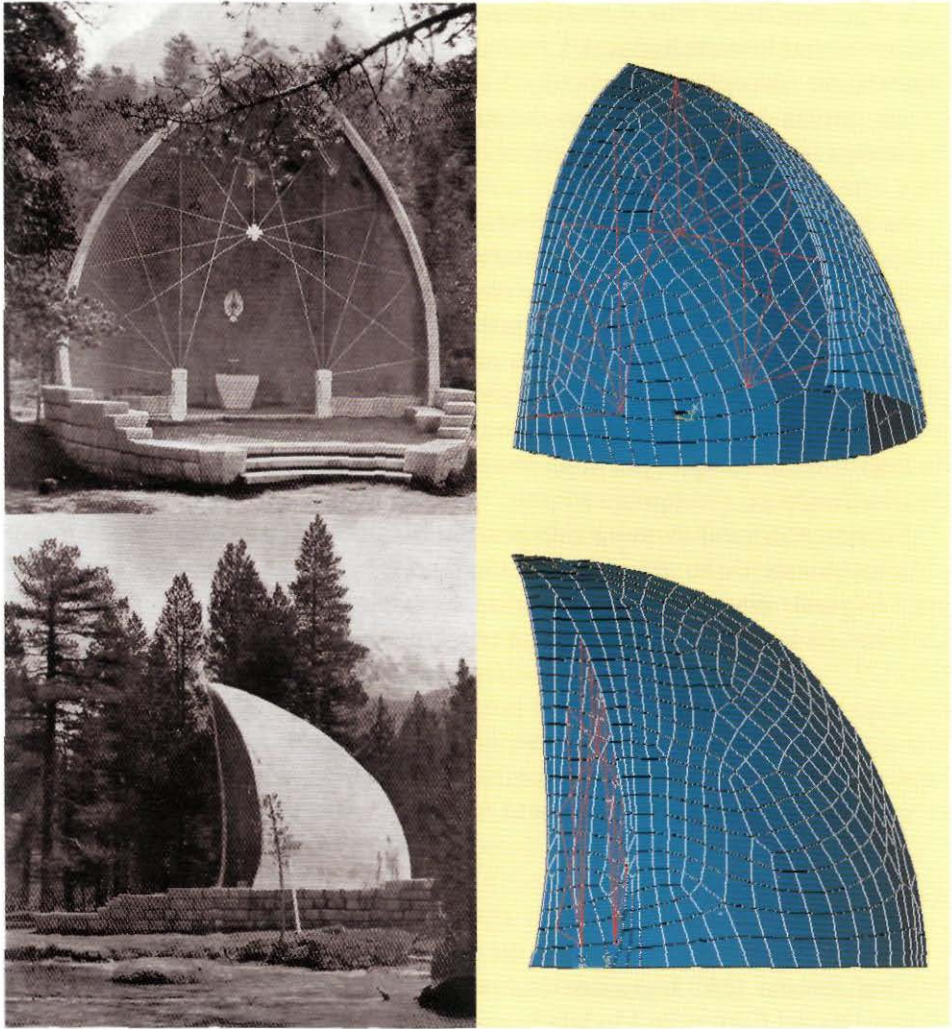


Figura 1. Capilla de Sancti Spirit. Modelo de elementos finitos.

M.^a Candelaria Alarcón diseñó desinteresadamente el tríptico anunciador y la portada del libro.

Es de justicia señalar también el entusiasta apoyo de D.^a Marisa Marco y de todo el personal de la Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, que han ayudado a superar las dificultades que toda obra de este tipo conlleva.

Finalmente, se agradece a la Secretaría de Estado de Educación, Universidades, Investigación y desarrollo del Ministerio de Educación,



Figura 2. Modelo numérico e isolíneas de tensiones de tracción en la lámina.

Cultura y Deporte y al Colegio de Ingenieros de Caminos su contribución al éxito de las jornadas y a la materialización de esta publicación.

REFERENCIAS

1. Instituto ETCC: Número especial dedicado a Eduardo Torroja “Informes de la Construcción 137”. Enero-febrero 1962.

2. J. A. Fernández Ordóñez: "*La modernidad en la obra de Eduardo Torroja*". Colegio ICCP-Turner, 1979.
3. F. Arredondo et al.: "*La obra de Eduardo Torroja*". Instituto de España, 1977.
4. Santiago Ramón y Cajal: Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, 5-XII-1897.
5. Eduardo Torroja: Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, 1944.