

**SOBRE LA LÓGICA DE LAS ESTRUCTURAS:
ESTUDIO DEL CURSO *FORMAS RESISTENTES*
EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA, IMPARTIDO
POR EDUARDO TORROJA MIRET EN 1956**

Ana María Marín Palma

María del Mar Alonso López



Ana María Marín Palma

(Madrid, 1961). Es arquitecta por la Universidad Politécnica de Madrid. Se doctoró con la tesis «Eladio Dieste, forma y estructura. La creación de un nuevo material: la cerámica armada» y es máster de Restauración y Rehabilitación del Patrimonio por la Universidad de Alcalá. Fue profesora en la Universidad de Alcalá (UAH) y actualmente en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Ha trabajado como arquitecta en la UAH, en el Área de Patrimonio de la Oficina Delegada de Defensa en Alcalá de Henares y de Madrid del Ministerio de Defensa y como colaboradora en el Obispado de Alcalá de Henares, en proyectos y obras realizadas con el ingeniero civil uruguayo Eladio Dieste. Cabe destacar el conjunto parroquial Sagrada Familia, en Torrejón de Ardoz (Madrid), adaptación de la iglesia de Atlántida en Uruguay (edificio Patrimonio de la Humanidad 2021). Ha formado parte del equipo para redactar el documento que se presentó ante la Unesco para declarar a la ciudad de Alcalá de Henares y a la UAH Patrimonio de la Humanidad.

Mar Alonso López

(Madrid, 1965). Es doctora en Ciencias Químicas y científica titular en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC, dentro del Grupo de la Química del Cemento. Sus principales líneas de investigación están dirigidas a la preparación de morteros y hormigones con baja huella de carbono y en línea con la estrategia de economía circular. Es autora de más de cincuenta artículos científicos, tiene múltiples presentaciones a congresos, ha sido investigadora principal o en colaboración de tres proyectos del Plan nacional de I+D y directora o codirectora de cinco tesis doctorales. Es, además, directora de la revista científica *Materiales de Construcción*.

Imagen de cubierta: detalle gráfico del tríptico informativo del curso sobre *Formas resistentes en la construcción moderna*, editado por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en Madrid, 1956.

**SOBRE LA LÓGICA DE LAS ESTRUCTURAS:
ESTUDIO DEL CURSO *FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCIÓN
MODERNA*, IMPARTIDO POR EDUARDO TORROJA MIRET EN 1956**

MONOGRAFÍAS DEL IETcc, N.º 445

Dirección

Maximina Romero Pérez, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

Secretaría

Román Nevshupa Kasatkin, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

Comité Editorial

María del Mar Alonso López, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

Antonio Álvaro Aznar López, Universidad Politécnica de Madrid

Borja Frutos Vázquez, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

David Izquierdo López, Universidad Politécnica de Madrid

Ángel Manuel González Santos, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

Sonia Martínez de Mingo, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

Mónica Martínez Martínez, Universidad de Alcalá de Henares

Isabel María Martínez Sierra, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), CSIC

Juan Carlos Pérez Sánchez, Universidad de Alicante

Rena C. Yu, Universidad de Castilla-La Mancha

**SOBRE LA LÓGICA DE LAS ESTRUCTURAS:
ESTUDIO DEL CURSO *FORMAS RESISTENTES*
EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA, IMPARTIDO
POR EDUARDO TORROJA MIRET EN 1956**

Ana María Marín Palma

María del Mar Alonso López

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Madrid, 2025

La versión electrónica de este libro está disponible en acceso abierto en editorial.csic.es y se distribuye bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución-Non Comercial-No Derivadas 4.0. La información completa sobre dicha licencia puede ser consultada en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. El uso del material proveniente de otras fuentes (indicadas en las referencias), como diagramas, ilustraciones, fotografías o fragmentos de textos, requerirá permiso de los titulares del *copyright*.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor/a o autores/as. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Cómo citar: *Sobre la lógica de las estructuras: estudio del curso Formas resistentes en la construcción moderna, impartido por Eduardo Torroja Miret en 1956*. Ana María Marín Palma y María del Mar Alonso López. Madrid: CSIC, 2025.

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: editorialcsic@csic.es)



© CSIC, 2025

© Ana María Marín Palma y María del Mar Alonso López

© De las ilustraciones, las fuentes mencionadas a pie de figura

© Imagen de cubierta: detalle gráfico del tríptico informativo del curso sobre *Formas resistentes en la construcción moderna*, editado por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en Madrid, 1956.

ISBN: 978-84-00-11554-8

e-ISBN: 978-84-00-11555-5

NIPO: 155-25-224-1

e-NIPO: 155-25-225-7

Depósito legal: M-26725-2025

Coordinación editorial: Enrique Barba (Editorial CSIC)

Corrección: Joaquín Dacosta Esteban

Maquetación: Gráficas Blanco, S. L.

Impresión y encuadernación: Fragma

Impreso en España. *Printed in Spain*

En esta edición se ha utilizado papel ecológico sometido a un proceso de blanqueado ECF, cuya fibra procede de bosques gestionados de forma sostenible.

ÍNDICE

Nota sobre la transcripción de textos	9
Agradecimientos.....	11
1. Introducción	13
2. El Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. La sede del curso.....	15
3. El curso <i>Formas resistentes en la construcción moderna</i>	21
3.1. Antecedentes: el curso <i>Conversaciones sobre el arte de proyectar</i>	21
3.2. Presentación e inauguración del curso <i>Formas resistentes en la construcción moderna</i>	22
3.3. Objetivo del curso.....	24
3.4. Organización del curso.....	24
3.5. Asistencia al curso	26
3.6. Los estudiantes	26
4. El documento del curso	27
4.1. Conferencias del profesor Eduardo Torroja	27
4.2. Conferencias de los especialistas invitados	40
5. Clases prácticas. Los proyectos	47
6. Viaje de fin de curso.....	51
7. Exposición de los trabajos realizados y entrega de diplomas.....	53
8. El curso en los medios de comunicación	57
9. Las conferencias del curso y el libro <i>Razón y ser de los tipos estructurales</i>	63
9.1. Antecedentes.....	63
9.2. Influencia del curso <i>Formas resistentes en la construcción moderna</i> en el libro <i>Razón y ser de los tipos estructurales</i>	63
10. El curso <i>Formas resistentes en la construcción moderna</i> , el origen de los cursos CEMCO	71
Referencias	73
ANEXO 1. Conferencia inaugural del curso <i>Formas resistentes en la construcción moderna</i>	75
ANEXO 2. Conferencia del 5 de marzo de 1956. El frontón de Recoletos.....	83
ANEXO 3. Conferencia del 15 de febrero de 1956. La cerámica armada de Eladio Dieste	91
ANEXO 4. Fotografías del curso	93
Imágenes de las clases prácticas	93
Las clases teóricas. Eduardo Torroja y los conferenciantes invitados.....	97
Las colaboradoras.....	101

NOTA SOBRE LA TRANSCRIPCIÓN DE TEXTOS

En esta monografía se incluyen numerosas transcripciones literales de textos orales y escritos, como conferencias pronunciadas en el curso, notas de prensa, entrevistas radiofónicas o cartas, tal cual fueron realizadas en aquel momento. Pueden presentar, por lo tanto, irregularidades ortográficas y lingüísticas en general, que aquí se han mantenido en su estado original.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras queremos agradecer a la Dirección del IETcc, así como a Leticia Quemada, a Álvaro Rodríguez, a Gabriel Barón y a Virginia Gallego por su disposición absoluta para poder llevar a cabo esta monografía.

1. INTRODUCCIÓN

El 14 de noviembre de 1934 se fundó oficialmente el Instituto de la Construcción y la Edificación, germen y origen del actual Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC), que cumplió, por lo tanto, en el año 2024, 90 años de existencia.

La ocasión es merecedora de ser conmemorada, y esta monografía es una de las muchas formas de poder celebrar esta efeméride. Durante estos 90 años la investigación realizada en el IETcc ha sido puntera en numerosas ocasiones, y se han realizado infinidad de cursos, publicado un número incontable de artículos y libros, y se han formado varias generaciones de expertos en ingeniería, arquitectura y ciencia de los materiales de construcción.

Sin embargo, también ha sucedido que ciertos documentos con un gran valor científico y/o técnico no acabaron saliendo a la luz por diversas circunstancias, y recuperar esta información es un raro privilegio. Este es el caso de los documentos del curso

Formas resistentes en la construcción moderna, dirigido e inaugurado en 1956 por el profesor Eduardo Torroja¹.

Las autoras de esta monografía, buscando en los archivos del IETcc, encontraron varias carpetas pertenecientes a este curso, que nunca fue publicado. Los documentos encontrados son de valor extraordinario, pues, tras su lectura y estudio, se pudo comprender que este evento fue el precursor de la obra *Razón y ser de los tipos estructurales* (1957), de Eduardo Torroja, y, por otro, el germen de los cursos CEMCO que se han realizado con gran éxito en el IETcc a lo largo de varios años, y que actualmente están enfocados como un máster del CSIC [1]. De hecho, el curso *Formas resistentes en la construcción moderna* podría ser considerado el CEMCO 0.

Esta monografía pretende ser en parte un homenaje a esta obra, y también una introducción y puesta en contexto de la misma, lo que esperamos que anime posteriormente a la lectura íntegra de los documentos en el sitio web del IETcc-CSIC.

1. Eduardo Torroja Miret (Madrid, España, 27 de agosto de 1899-15 de junio de 1961).

2. EL INSTITUTO TÉCNICO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEL CEMENTO. LA SEDE DEL CURSO

En el año 1934, Eduardo Torroja Miret y José María Aguirre Gonzalo, ambos ingenieros de caminos, fundan el Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación (ITCe), como una asociación privada, junto al ingeniero de caminos Alfonso Peña Boeuf, el ingeniero militar José Petricena, y los arquitectos Modesto López Otero, Manuel Sánchez Arcas y Gaspar Blein [2,3,4]. La idea partió de ambos fundadores con el propósito de crear un centro donde el trabajo en equipo fuera la base de su funcionamiento, y que se convirtiera en una referencia internacional en la que se aunasen la investigación, la formación y la divulgación para impulsar el progreso en la construcción [2,5,6].

El primer domicilio social del Instituto se ubicaba en la calle Marqués de Cubas número 25, de Madrid. Su actividad principal era la investigación, dándole máxima importancia a la divulgación de sus hallazgos.

Dentro de esta filosofía de transmitir los avances científicos y técnicos alcanzados, destacan los cursos y conferencias impartidos en el ITCe, la creación en 1935 de la revista *Hormigón y Acero* o la colección *Monografías del Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación*.

En 1936, debido a la Guerra Civil, se produce una paralización en la investigación nacional y, por tanto, también en las actividades del ITCe.

A partir de 1939, la actividad científica española se empieza a recuperar y se organiza a través del recién creado Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El ITCe se incorpora a esta institución en 1941 como centro asociado, por lo que se traslada a un local que le cede el CSIC en la calle del Duque de Medinaceli número 4 de Madrid, que comparte con otros centros [2,4].

En esta época la actividad desarrollada es de gran intensidad. Comienza «una etapa de transferencia de información científico-tecnológica entre el mundo investigador y los sectores industriales y empresariales» [5 p34].

La divulgación de los logros científicos y técnicos que se hacía en el ITCe se sigue manteniendo a través de las diversas publicaciones del ITCe, que se incorporan a los ciclos de conferencias y a las monografías

ya en funcionamiento y a las disertaciones que se realizan para la reconstrucción del territorio nacional.

En 1946 el ITCe se integra en el Patronato Juan de la Cierva como instituto propio [7] y cambia su denominación a Instituto Técnico de la Construcción (ITC), trasladándose a la calle Ruiz de Alarcón número 25 de Madrid. El nuevo cambio le permite ampliar sus instalaciones y, por extensión, las líneas de investigación de los materiales de construcción, preferentemente la del hormigón armado, la organización de obras, y la difusión de las investigaciones realizadas [2,4].

El Instituto, además de estar financiado por el CSIC a través del Patronato Juan de la Cierva, también lo hace con aportaciones de organismos públicos y privados, y con los honorarios por los trabajos externos que realiza para la industria, al igual que se gestionan otros centros equivalentes en el extranjero.

En 1947 se funda el Instituto del Cemento (IC) dentro del Patronato Juan de la Cierva, nombrando a Eduardo Torroja como director, actividad que compaginaba con la dirección del ITC. La actividad del IC es muy intensa con el anhelo de ampliar sus espacios para trabajar a escala semi-industrial los problemas que presentaba la industria del cemento [7].

En 1949 el Patronato Juan de la Cierva decide fusionar ambos Institutos,¹ de modo que el nuevo centro pasa a denominarse Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCc), y vuelve a trasladarse, esta vez a la calle Velázquez número 47 de Madrid. En esta nueva ubicación disponen de laboratorios propios y de naves para los trabajos experimentales a gran escala. La actividad desarrollada es más potente que la realizada por la propia industria cementera, dando solución a muchos de los problemas existentes en construcción en aquellos años. Fruto de esta labor es el desarrollo de nuevas líneas de investigación y el incremento de las colaboraciones con otros laboratorios y centros, tanto nacionales como extranjeros.

1. Cuando se fusionaron los dos Institutos, el IC y el ITC, en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Federico Turrell pasa a presidir el Consejo Técnico Administrativo hasta su fallecimiento en 1964.

Las publicaciones se multiplican, y se editan las revistas *Informes de la Construcción*, *Últimos Avances en Materiales de Construcción*, *Últimos Avances en Edificación* o *Noticias sobre Hormigón Pretensado*.

El personal adscrito al Instituto aumenta, y está compuesto por ingenieros, arquitectos, aparejadores, químicos, dibujantes, traductores, personal de oficina, etc. [2,7].

La relevancia del Instituto traspasa el ámbito nacional, y se convierte en un referente internacional, por lo que en 1951, para dar cabida a las demandas de las numerosas vías de investigación que desarrollan, deciden trasladarse a una finca conocida como *El Bosque*, con una superficie de unos 55 000 m², a las afueras del Madrid de entonces, en Chamartín de la Rosa. Para la construcción del nuevo edificio, se visitan instalaciones similares en Chicago, Estocolmo, Lisboa, Helsinki, Lieja o Londres, con el fin de recabar información y tomarlos como referencias [5].

Para la realización del proyecto y su ejecución, se contó con una gran cantidad de expertos profesionales de diversos ámbitos del conocimiento. Los encargados del proyecto de arquitectura fueron los arquitectos Manuel Barbero y Gonzalo Echegaray, que materializaron los múltiples espacios que debía tener el centro, en los que el ingeniero Eduardo Torroja actuó como propiedad o responsable máximo, a fin de que el compromiso con las obras fuese óp-

timo. La intensa participación de especialistas de las más diversas áreas fue lo que llevó a Eduardo Torroja a acuñar el lema *Technicae plures, opera unica*.

Las obras de la nueva sede del ITCc, conocida con el nombre de *Costillares*, se terminan en 1953, y retoma el lema de su construcción para describir la pluralidad de trabajos que se realizaban en un mismo edificio, aunque todos juntos conforman un objetivo común.

El edificio se organizó en planta con la forma de la letra griega pi, Π , y, aunque no hay un documento justificativo de la elección de esta forma, su adopción podría deberse al interés que tenía Eduardo Torroja por las matemáticas y la geometría [8]. El edificio en forma de Π daba cabida a talleres, naves de ensayos, laboratorios, zona de oficinas para la administración del edificio y para las relacionadas con las múltiples publicaciones del centro, despachos, biblioteca, salas de estudio y para reuniones y áreas exteriores para modelos experimentales. Asimismo, albergaba espacios singulares, como el comedor, el salón de actos o los vestíbulos. Adjuntos a la Π , pero independientes, se encuentran una planta piloto para la fabricación de cementos, la nave de arena normalizada, el depósito de aguas, el silo de carbón en forma de dodecaedro o el vivero. También se proyectaron espacios exteriores para realizar deportes, diversas albercas y una zona para el estacionamiento (figuras 2.1 a 2.7).

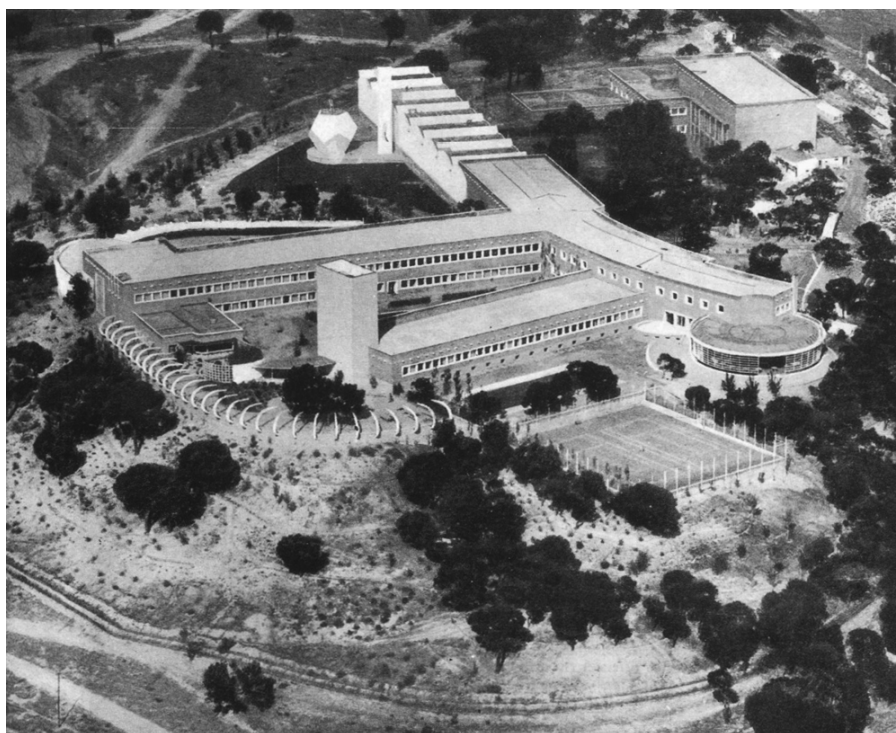


Figura 2.1. Vista general del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en Costillares, Madrid, inaugurado en 1953. FUENTE: Archivo IETcc.

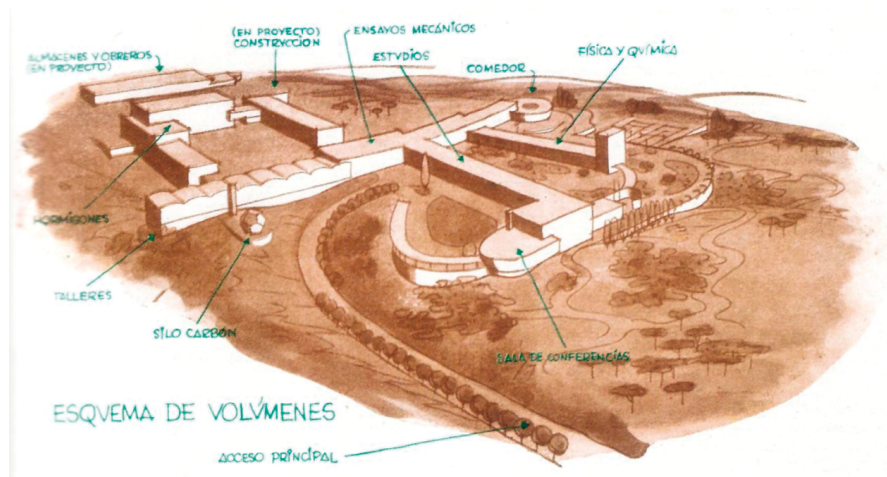


Figura 2.2. Esquema volumétrico del edificio de Costillares en los años cincuenta. Su organización se corresponde con los requisitos necesarios para el Instituto en lo que se refiere a investigación y a la topografía del terreno. FUENTE: [4,8].



Figura 2.3. Diversas salas del ITCc de la época. Izquierda: Nave de talleres. Es característica su cubierta compuesta por nueve bóvedas cilíndricas realizadas mediante una estructura metálica muy liviana de celosía triangulada, que sostenía una superficie continua de planchas de madera y corcho para su aislamiento térmico y láminas onduladas de zinc como revestimiento. Uno de los requisitos de esta sala era que estuviera bien iluminada, para lo cual se practicaron unos lucernarios con orientación norte, sin radiación solar directa en ninguna época del año. Derecha: Laboratorio de química. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 2.4. Izquierda: Nave de arenas. Derecha: Taller de prefabricación. FUENTE: Archivo IETcc.

El edificio de Costillares se convirtió también en un ejemplo de diferentes tecnologías constructivas. Para dar una imagen de modernidad y para economizar en el proceso constructivo, se optó por la construcción prefabricada. Así, elementos como los cercos, los dinteles o las impostas de las ventanas, las losas para los forjados, los solados, las placas para la formación de los falsos techos, los conductos del aire acondicionado o las gárgolas para el desagüe de las cubiertas se fabricaron en talleres que se montaron a pie de obra [9]. Aunque la decisión de montar los talleres para fabricar los elemen-

tos constructivos en la misma finca de Costillares suponía una inversión económica inicial elevada, el estudio de costes indicaba que, dado el gran número de piezas a realizar, se ahorraba dinero en la mano de obra, en el transporte o en el control de calidad, además de controlar el tiempo en los suministros [9].

El interior del edificio se acondicionó con mobiliario moderno, mesas, sillas, butacas, sofás, bancos, armarios, estanterías, expositores, mostradores, atriles, percheros o luminarias, que fueron diseñados ex profeso para los espacios que habían

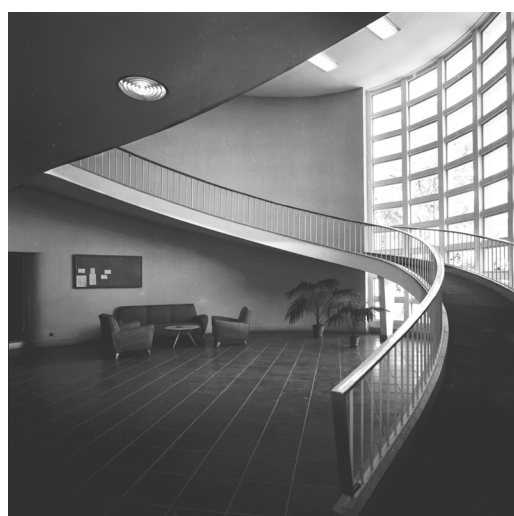


Figura 2.5. Izquierda: Comedor circular con cubierta en voladizo y un cerramiento corredero que permite que este espacio quede al aire libre integrándose sin discontinuidades con su entorno. La cubierta se realizó mediante un sistema de vigas metálicas que, apoyadas en unas columnas dispuestas en forma de anillo en el interior de la sala, vuelan radialmente hasta el borde. Derecha: Vestíbulo de personal en doble altura y rampa de comunicación que permite la continuidad espacial entre las plantas baja y primera. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 2.6. Izquierda: Servicio de información bibliográfica. Derecha: Salón de actos del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. FUENTE: Archivo IETcc.

de ser habitados. Los materiales utilizados fueron fundamentalmente la madera, el metal y los tapizados de cuadros. La influencia de arquitectos como el italiano Gio Ponti, los americanos Charles y Ray Eames o los finlandeses Alvar y Aino Aalto se dejan notar tanto en las formas constructivas como en la elección de los materiales. Se creó una estética pro-

pia que, además de personalizar el Instituto, mostraba que estaba al corriente de las tendencias americanas y europeas vigentes [10].

En este marco físico, referente científico y técnico internacional en el mundo de la ingeniería y la construcción, es donde se impartió el curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*.



Figura 2.7. Izquierda: El invernadero. Para su cubrición se utilizó la tradicional bóveda tabicada. Derecha: Ala de la sala de física y química. Al fondo, el prisma de gran altura se corresponde con el depósito de agua. En primer plano, la piscina, utilizada originariamente para el curado de los elementos prefabricados de hormigón realizados durante las obras para su posterior colocación en el edificio. FUENTE: Archivo IETcc.

3. EL CURSO FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA

3.1. Antecedentes: el curso *Conversaciones sobre el arte de proyectar*

Desde el año 1954, Alfredo Sánchez Bella, director del Instituto de Cultura Hispánica (ICH), y el profesor Torroja mantienen conversaciones para realizar un curso enfocado a arquitectos e ingenieros hispanoamericanos, con el fin de que encuentren en España el destino donde realizar sus estudios de especialización, no teniendo de esta manera que contratar a técnicos norteamericanos o europeos que suplan la carencia de técnicos especialistas en sus países.

Eduardo Torroja realiza una propuesta de lo que podría ser ese curso y que se denominaría *Conversaciones sobre el arte de proyectar*. El 14 de mayo de 1954, Jaime Nadal, como secretario del ITCC, envía la propuesta a Alfredo Sánchez Bella, director del ICH:

«CONVERSACIONES SOBRE EL ARTE DE PROYECTAR»

Frecuentemente se nos han dirigido Arquitectos e Ingenieros de diferentes países, solicitando la organización de un curso de composición estructural en el que se expongan y desarrollen los principios fundamentales que permiten comparar entre sí las diversas estructuras que, como posibles soluciones, acostumbra a considerarse cuando se inicia el estudio de un proyecto.

Atendiendo esos deseos, se intenta organizar unas «Conversaciones sobre el Arte de Proyectar» a cargo de Don Eduardo Torroja.

Con este curso se pretendería dar una enseñanza, lo más intuitiva posible, para crear el criterio rápido de elección de las formas resistentes más apropiadas en cada caso, así como mantener un intercambio de opiniones entre los asistentes, a quienes se brindaría una ocasión propicia para exponer y cotejar sus propias ideas.

En principio, la duración del curso sería de un trimestre, dando comienzo a mediados del mes de enero, y constaría de unas treinta lecciones que se desarrollarían en la primera parte del mismo, para completarlo después con una serie de viajes

por España, con objeto de visitar los monumentos arquitectónico más característicos y las obras más modernas.

Simultánea e íntimamente relacionado con estas charlas, se organizaría un seminario donde desarrollar diferentes temas con discusión de las soluciones propuestas, seminario que habría de clausurarse en una exposición de los trabajos realizados por los participantes.

Dado el carácter de este curso fundamentalmente para postgraduados— no comprendería la parte matemática sino en la mínima medida necesaria para los rápidos tanteos y bocetos de los tipos estructurales, dándose en cambio importancia fundamental a los que representan los diferentes materiales, métodos de construcción, expresión estética y fundamentales valores funcionales.

Coincidiendo con este curso, se podrían desarrollar en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento tres Ciclos de conferencias: El primero sobre «estudio experimental de estructuras», el segundo sobre «moderno empleo de la soldadura» y un tercero de «aplicaciones del hormigón pretensado».

La inscripción para asistir a las «Conversaciones sobre el Arte de Proyectar» así como a los ciclos de conferencias mencionados, sería gratuita y únicamente los que asistieran al Seminario, deberían abonar al inscribirse la cantidad de 3.000 pts. en concepto de gastos de material.

Los gastos que originaran los viajes de prácticas que se pretenden realizar por todo el territorio nacional, serían abonados por los asistentes en la forma que se daría a conocer oportunamente.

Madrid, 14 de Mayo de 1954

Unos días más tarde, con fecha 20 de mayo, el secretario general del Instituto de Cultura Hispánica, José Luis Messía Jiménez, acepta el curso propuesto.¹

1. Carta del secretario general del Instituto de Cultura Hispánica, José Luis Messía Jiménez, al secretario general del ITCC, Jaime Nadal Aixalá, de fecha 20 de mayo de 1954.

Hay documentación del año 1955, pero básicamente está referenciada a la gestión de los estudiantes que han de venir al curso, que ha pasado a denominarse *Formas resistentes en la construcción moderna*, y a publicitarlo.

3.2. Presentación e inauguración del curso *Formas resistentes en la construcción moderna*

El miércoles 11 enero 1956, a las seis de la tarde, el director del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCc), Eduardo Torroja, presenta el curso *Formas resistentes en la construcción moderna*, organizado y celebrado en el salón de actos de dicho instituto y a propuesta del Instituto de Cultura Hispánica (ICH). Alfredo Sánchez Bella, director del ICH, trasladó al profesor Torroja su inquietud por poder compartir conocimientos y experiencias del área de la construcción con profesionales hispanoamericanos, hermanados en cultura, pero distantes geográficamente. Este contacto fue el inicio de una serie de gestiones que finalmente dieron origen al curso *Formas resistentes en la construcción moderna* (véase la conferencia inaugural en el anexo 1). El curso se publicitó extensamente a colegios profesionales, administraciones, prensa, etc. (figuras 3.1 y 3.2).

Al acto de inauguración, además de Eduardo Torroja y Alfredo Sánchez Bella, asistieron, entre otras personalidades, Francisco Prieto-Moreno (director general de Arquitectura), Federico Turell² (presidente del ITCc), Modesto López Otero (presidente de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando) y Rafael Fernández-Huidobro³ (subdirector de la Escuela de Arquitectura).

Durante este acto se realizó la presentación de los estudiantes a las autoridades de las diferentes administraciones y entidades involucradas en la organización del curso. Una hora más tarde, tanto los alumnos como el público general asisten a una conferencia impartida por el profesor ingeniero Eduardo Torroja como director del curso.

2. Cuando en 1946 el Instituto pasa a ser un centro dentro del Patronato Juan de la Cierva, se elaboran unos estatutos nuevos, editados en 1948, donde se reconoce su capacidad para funcionar administrativamente como una sociedad privada. Se crea un consejo de administración presidido por Federico Turell.

3. Rafael Fernández-Huidobro fue nombrado subdirector y jefe de estudios de la Escuela de Arquitectura en el año 1952, y fue su director de 1967 a 1969. En el año 1956 el director era Pascual Bravo.

Cuando se lee el discurso de inicio y se valora, con la distancia del tiempo transcurrido, se observa que, además de explicar el reto al que habían de enfrentarse los estudiantes, ingenieros y arquitectos, como era el que las estructuras que proyectasen debían resistir por su forma, también exponía sus inquietudes estéticas, las dificultades que tuvo que encarar en sus obras y las herramientas con las que contó para superarlas, es decir, expuso cómo era el pensamiento de un artista estructural.

El concepto de la unión de la arquitectura, los materiales y el arte tiene un claro precedente en la obra *Cursos de la Bauhaus*, de Wassily Kandinsky [11]. Uno de los temas principales del curso fue la conexión entre el arte y la técnica, que dio lugar a varias ideas muy novedosas en la época, tal y como explica Philippe Sers en el prólogo de esta obra:

- Por una parte, si la técnica logra un resultado estético, las artes pueden tener un fin práctico que vincule su forma a una función.
- La arquitectura, que obedece en principio a una función, sigue con frecuencia imperativos puramente estéticos.
- En la técnica se pueden observar a menudo formas interiores y exteriores de gran belleza.
- En arquitectura e ingeniería, la forma funcional está muy ligada a la época y pierde valor con el paso del tiempo (un castillo para la defensa, un puente en desuso, etc.) pero, aunque su función haya acabado, el arte conserva toda su expresividad.

En sintonía con esta corriente de la Bauhaus, el curso de *Formas resistentes en la construcción moderna* estaba pensado bajo el concepto de que las estructuras de ingeniería se podían convertir en una disciplina artística además de técnica, lo que también manifestaría años después, en 1983, el profesor David P. Billington en su libro *The tower and the bridge. The new art of structural engineering* [12]. David Billington, ingeniero y profesor de la Universidad de Princeton, en sus clases y en sus libros, enfatizaba en la importancia de la componente estética para el proyecto de una obra de ingeniería. Consideraba a ciertos proyectistas como Thomas Telford, Robert Maillart, o Eduardo Torroja, artistas estructurales al poder crear objetos de gran belleza que reflejaban su personalidad [12].

Lo que el profesor Torroja quería mostrarles a sus estudiantes es que, en las novedosas formas estructurales que creasen, además de ser resistentes,

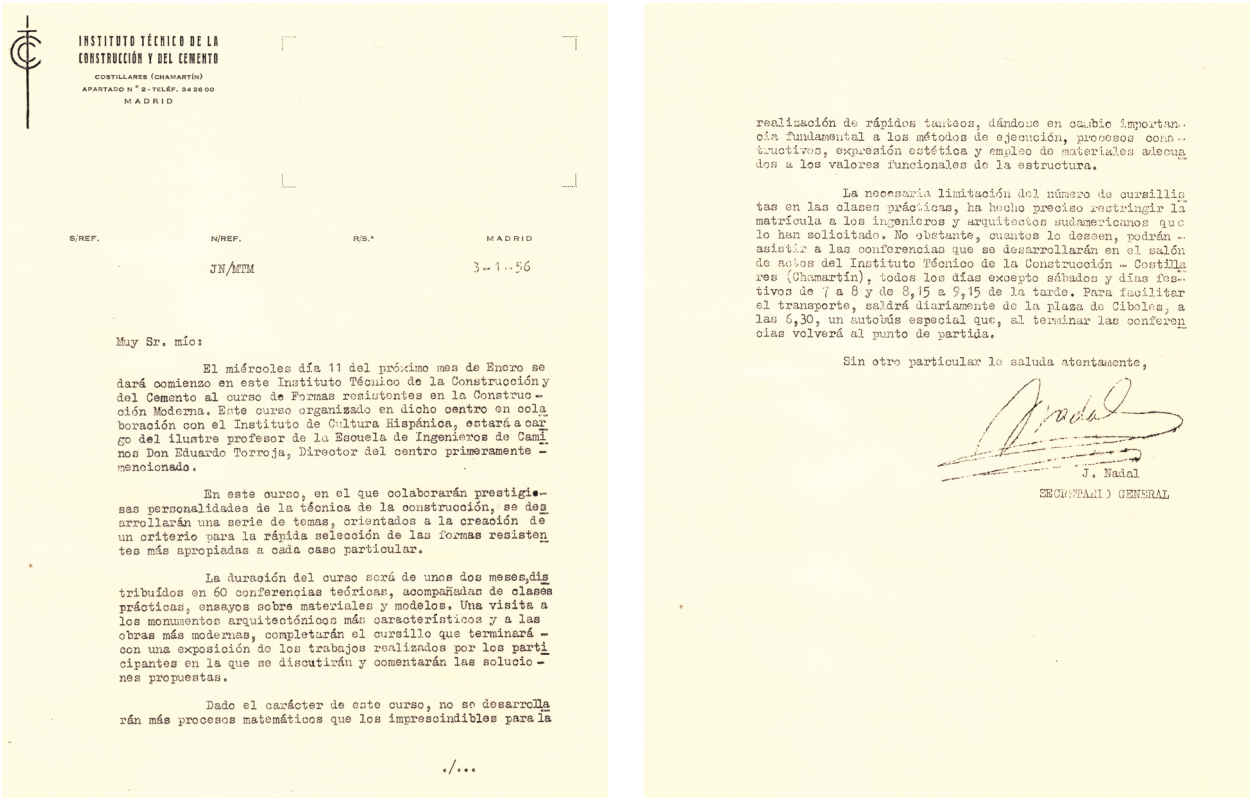


Figura 3.1. Modelo de carta de fecha 3 de enero de 1956 para publicitar la celebración del curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*, que, bajo la dirección de Eduardo Torroja, y en colaboración con el Instituto de Cultura Hispánica, se iba a desarrollar en el ITCc a partir del día 11 de enero. FUENTE: Archivo IETcc.

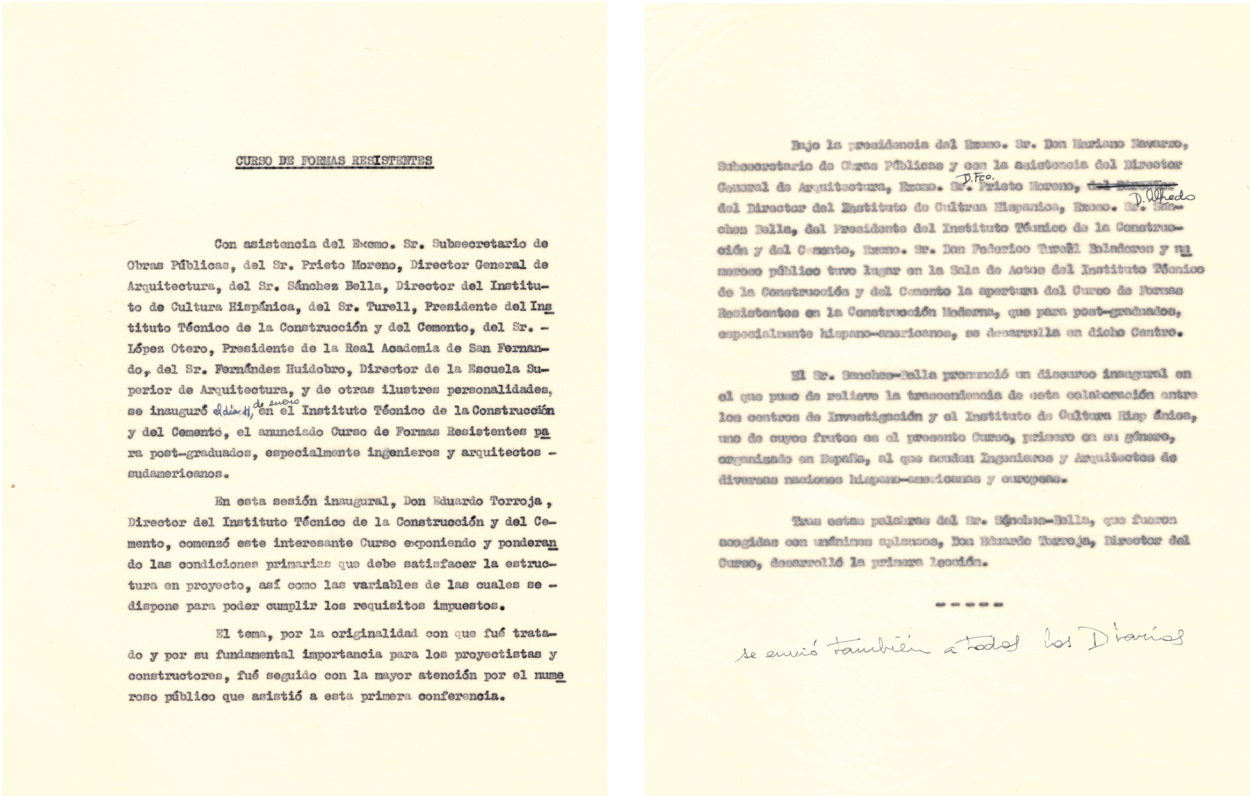


Figura 3.2. Notas de comunicación —sin fechar— de la inauguración del curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*, celebrado en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Fuente: Archivo IETcc.

tenía que primar la condición estética. La elección del material, además de influir en la durabilidad de la construcción, lo hace en el tipo estructural y, por tanto, en el proceso constructivo; y debían ser económicas, diferenciando el coste presupuestario de la economía de medios.

La oportunidad que tenían estos alumnos a través del curso fue que no solo tuvieron la posibilidad de proyectar con un ingeniero que realizaba arte estructural, sino también conocer el proceso mental que realizaba el ingeniero Torroja desde la gestación de una idea hasta su puesta en obra.

Y es que el profesor Torroja era el autor de construcciones innovadoras —o impensables— para el momento en que se hicieron, como el casquete esférico de 47,76 m de luz y 9 cm de espesor del Mercado de Algeciras⁴, Cádiz, 1933 [13], las láminas en voladizo con forma de hiperboloide que cubrían los graderíos del Hipódromo de la Zarzuela⁵, Madrid, 1935 [13], o la lámina cilíndrica de dos lóbulos asimétricos del Frontón Recoletos⁶, Madrid, 1935 [13]. En definitiva, Eduardo Torroja gozaba de alto prestigio y era considerado un pionero en su época.

Un conocimiento minucioso de los materiales y de su comportamiento, y un dominio del cálculo de las estructuras, habían convertido a Eduardo Torroja en un reputado proyectista, calculista y constructor internacional que realizaba originales estructuras, sabiendo encontrar la forma resistente más apropiada para cada caso concreto.

3.3. Objetivo del curso

El objetivo del curso no era mostrar nuevas teorías, ni grandes ideas. Tampoco realizar desarrollos matemáticos, pues los estudiantes ya los habían visto cuando cursaron las carreras de ingeniería o arquitectura. Lo que se pretendía era que pensaran en for-

mas estructurales que resistieran por la forma y cumplieran una función determinada, como podía ser las cubiertas de la zona de embarque de un aeropuerto, la de un mercado de abastos o erigir una gran torre. Las soluciones estructurales no se calculaban, sino que se ponderaban. El ponderar exigía razonamiento, tomar decisiones, y no porque el cálculo avalase si la solución a la que habían llegado resistía.

A las formas ya elegidas se les debía exigir que fueran resistentes a la rotura, que no se cayesen y que no se deformasen excesivamente, requisitos fundamentales para una construcción que quedan expresamente reflejados en el título del curso. Las estructuras proyectadas, además, habían de mantenerse en el tiempo, es decir, ser durables, por lo que era fundamental el material con que se ejecutaban. Por otra parte, tenían que ser económicas, y no solo en su aspecto financiero, de coste de presupuesto, sino desde un punto de vista global, considerado desde la precisión constructiva y de los medios disponibles. Y fundamentalmente debían tener un componente estético importante, ser elegantes.

Cuando se preguntaba al profesor Torroja sobre el programa, o cuál iba a ser la duración del mismo, él respondía que lo importante era la totalidad del curso, no las partes por separado. Esto se refería a como a veces lo que le falta al proyectista es una visión de conjunto, una visión sintética del problema, un enjuiciamiento total.

3.4. Organización del curso

El curso estaba dividido en clases teóricas o conferencias, clases prácticas de proyectos, ensayos sobre materiales y modelos, visitas a obras, exposición de los trabajos realizados y viaje de fin de curso (figura 3.3).

Inicialmente el número de alumnos estaba restringido a quince participantes, con el fin de que estuvieran tutorizados por el ingeniero Eduardo Torroja y el arquitecto Rafael Fernández-Huidobro, a la sazón catedrático de Construcción Arquitectónica y subdirector de la Escuela de Arquitectura de Madrid. Sin embargo, dada la gran cantidad de solicitudes recibidas de posibles candidatos, se amplió el número de estudiantes a veinticinco, lo que fue posible gracias a la colaboración del ingeniero Alfredo Páez, profesor de Hormigón en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, y la del arquitecto Fernando Cassinello, profesor de Construcción en la Escuela de Arquitectura de Madrid y colaborador habitual de la revista *Informes de la Construcción*.

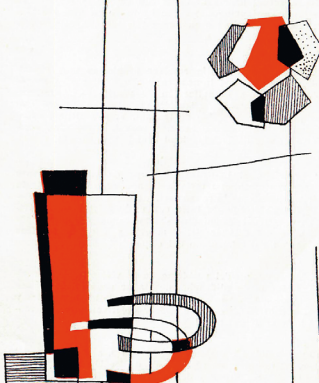
4. Realizado con el arquitecto Manuel Sánchez Arcas. Declarado Bien de Interés Cultural por la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía el 25 de octubre de 2001 como mejor ejemplo del Movimiento Moderno en la región.

5. Realizado con los arquitectos Carlos Arniches y Martín Domínguez. Las obras se terminaron en el año 1941 ya que estuvieron paralizadas durante la Guerra Civil. El edificio fue declarado Monumento Histórico Artístico en 1980, y Bien de Interés Cultural con categoría de Monumento en 2009. Premio Draw 2021 por la organización internacional Docomomo en la categoría Vanguardias Preservadas.

6. Realizado con el arquitecto Secundino Zuazo. La mayor estructura de este tipo construida en Europa hasta esa fecha. Tenía una capacidad para 2300 espectadores. El profesor Torroja, en la segunda conferencia, del 31 de enero, explica a los estudiantes de este curso el proceso de construcción y posterior destrucción del Frontón de Recoletos (anexo 2).

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO • INSTITUTO

TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO •



INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO




Curso sobre
FORMAS RESISTENTES
en la
CONSTRUCCION MODERNA

15 DE ENERO - 15 DE MAYO DE 1956
 MADRID

Curso sobre
FORMAS RESISTENTES
en la
CONSTRUCCION MODERNA

Los nuevos materiales y técnicas de construcción permiten cada día mayor libertad de formas; y los proyectistas se interesan cada vez más en sus posibilidades y desarrollo.

De qué formas puede disponerse, cuál es su origen, su razón de ser, cuáles sus valores funcionales, resistentes o estéticos; de dónde proceden y a dónde pueden llegar; qué representan en el momento actual, dentro de la evolución constante del arte de proyectar, todas ellas son cuestiones que interesa comentar.

La estructura—considerando como tal todo elemento resistente del conjunto—tiene sus leyes específicas mecánicas que interesa conocer.

Cualquier forma constructiva necesita, para serlo, cumplir las leyes que la mecánica le impone. Hoy ya no bastan las simples teorías de equilibrio, de estabilidad, de resistencia de materiales o la teoría de elasticidad. Para el buen aprovechamiento de los nuevos materiales y las nuevas técnicas es necesario conocer leyes físicas muy complejas.

Todo esto ha de estar presente tras la inteligencia imaginativa y creadora, si se quiere hacer algo más que copiar viejas soluciones amaneradas.

Para ello, y contra lo que pudiera creerse, no es preciso estar en posesión de profundos conocimientos de matemáticas, ni siquiera ser un especialista en estructuras. Una cosa es imaginar y trazar una forma resistente y otra calcularla.

Para lo primero no es necesario conocer los complejos procesos matemáticos que permiten determinar los estados tensionales que ha de sufrir esa estructura. Al margen de ellos, están las consideraciones que pudiéramos decir más o menos intuitivamente han de servirnos para conocer más formas de trabajo.

Director: D. EDUARDO TORROJA

Fecha: Del 15 de enero al 15 de mayo de 1956.

Sede: La del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento: Finca «Castillares», Chamartín de la Rosa, MADRID (España).

Enseñanza: Teórica, de investigación y práctica.

Técnicas: Lecciones del Director del Curso y conferencias a cargo de los más prestigiosos ingenieros y arquitectos españoles.

Investigación: Sobre materiales que el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento proporcionará.

Prácticas: En las instalaciones de la sede del Curso. Durante el último mes se realizará un viaje por España, visitando los lugares que ofrecen mayor interés al profesional de la construcción.

Matrícula: 4.000 pesetas (téngase en cuenta que el cambio oficial de divisas oscila alrededor de 40 pesetas por un dólar).

Alojamiento: A quienes lo soliciten, podrá proporcionarse el Departamento de Asistencia Universitaria del INSTITUTO DE CULTURA HISPÁNICA, (Ciudad Universitaria, Madrid), desde 40 pesetas diarias en adelante.

Diploma: Se extenderá a quienes sigan el Curso con asiduidad y aprovechamiento.

Información: Secretaría General, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Finca «Castillares», Chamartín de la Rosa, MADRID.

Correspondencia: Apartado de Correos 1263, Madrid (España).

EL INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO, dependiente del Patronato Juan de la Cierva, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tiene la misión de investigar y estudiar los problemas de todo orden relacionados con la Construcción y sus materiales.

La época actual podría llamarse con verdadera justicia, la era de las investigaciones, ya que hasta ahora nunca se ha desarrollado esta actividad en forma tan extensa, compleja y con medios tan poderosos.

Tal investigación necesita resolver problemas muy específicos de aplicación casi inmediata y con limitaciones económicas en cuanto a la aplicación de resultados. Asimismo, impone una mayor especialización ante la profundidad que hoy se precisa en este tipo de trabajo. Y, por último, exige diversidad de costosos aparatos, personal, materiales, etcétera, que se sale de la capacidad económica privada.

Por principio, el Instituto se ocupa de estudiar cuanto pueda repercutir en una mejora, económica o técnica, de la industria española de la construcción y sus materiales, dándose a la luz publicaciones tales como «Coeficiente de Seguridad», «Rheología del Hormigón», «Nomenclatura», «Estudio de la Composición del Clinker del Cemento» y «Nuevas Técnicas para el estudio del fraguado del cemento Portland».

Para la resolución del problema de la vivienda, se han estudiado sistemas de edificación de mayor productividad y se han sometido a rigurosos análisis muchos de los materiales y elementos constructivos, para definir objetivamente sus ventajas e inconvenientes.

En la actualidad trabajan en el Instituto, a las órdenes del Director, 105 personas en régimen de dedicación completa. Su selección fué tarea difícil y delicada. El estudio de cada posible colaborador se lleva a cabo en un periodo no inferior a seis meses y a veces ha llegado a superar el año. Tras esta primera fase, se les asigna un trabajo de puesta al día de determinada materia, al concluir el cual puede asegurarse que se encuentra en condiciones de abordar trabajos originales.

Este es—en brevísimas síntesis—el Centro que convoca ahora el **CURSO SOBRE FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCION MODERNA**, que ofrece especialmente a los técnicos de Hispanoamérica, con la pretensión, que confía ver lograda, de poderles mostrar lo más sobresaliente de los más modernos métodos logrados en la materia a que el Curso se va a dedicar.

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

Figura 3.3. Tríptico informativo del curso. FUENTE: Archivo IETcc.

El curso comenzó el 11 de enero de 1956 y finalizó el 24 de mayo del mismo año.

El horario del curso para las clases fue el siguiente:

- 17:00 a 18:45 h, la clase práctica.
- 19:00 a 20:00 h, la primera clase teórica (identificada como A), a modo de conferencia.
- 20:15 a 21:00 h, la segunda clase teórica (identificada como B), también a modo de conferencia.

Entre bloques siempre se dejaba un breve espacio de descanso.

3.5. Asistencia al curso

La entrada a todas las conferencias era libre y, para facilitar la asistencia a las mismas, se dispuso un autobús con salida a las 18:30 h desde la plaza de Cibeles hasta el ITCc, que realizaba el camino inverso una vez terminadas las actividades del curso.

Además de este autobús para el público general, salía otro a las 16:30 h para los estudiantes desde la plaza de la Moncloa, frente al Ministerio del Aire, hasta el Instituto, para facilitar la asistencia a las clases prácticas, y les devolvía al lugar de destino una vez terminadas las clases teóricas.

3.6. Los estudiantes

En octubre de 1955, se realiza la presentación de los estudiantes seleccionados (figura 3.4) al director y

al secretario del ITCc, Eduardo Torroja y Jaime Nadal, respectivamente.

Según el listado de alumnos enviado por el ITCc al Instituto de Cultura Hispánica, el 19 de enero de 1956 fueron veinticinco los alumnos inscritos en el curso, la mayor parte hispanoamericanos, de los que trece eran arquitectos, diez ingenieros y dos de los que no se ha podido conocer su titulación, según el siguiente detalle: México, tres arquitectos y dos ingenieros; Filipinas, un arquitecto; Paraguay, un ingeniero; Argentina, una arquitecta, dos arquitectos y un ingeniero; Alemania, un alumno sin identificar titulación; Ecuador, un alumno sin identificar titulación y un ingeniero; Perú, un arquitecto; Colombia, un arquitecto; Uruguay, una arquitecta, un arquitecto y un ingeniero; Chile, un arquitecto y dos ingenieros; Bolivia, un arquitecto; Brasil, un ingeniero, y Honduras, un ingeniero. Como hemos visto, cabe destacar la presencia de dos mujeres entre los veinticinco alumnos, lo que resulta especialmente curioso en la época en la que se celebró el curso. Además de esto, sabemos por una entrevista radiofónica realizada al profesor Torroja de la existencia de otros oyentes nacionales, de América del Norte y de Europa Central, de cuyos nombres, sin embargo, no hay constancia.

Entre los estudiantes, los había becados por el Instituto de Cultura Hispánica, por la Dirección General de Relaciones Culturales, y sin becar, tal y como hemos podido conocer por correspondencia que se ha encontrado junto con el archivo del curso.



Figura 3.4.
Los estudiantes del curso.
FUENTE: Archivo IETcc.

4. EL DOCUMENTO DEL CURSO

En el documento global, de más de 1300 páginas, se identifican dos partes fundamentalmente: transcripciones del curso y documentos asociados al curso (cartas a representantes de los colegios profesionales, directores de las escuelas de arquitectura o ingeniería, notas para la prensa escrita, anuncios de las conferencias, etc.).

El material que corresponde con la transcripción de las conferencias consta de 925 páginas, pertenecientes a 58 conferencias divididas de la siguiente manera:

- Parte 1: documento original mecanografiado de la conferencia del día de la inauguración, el 11 de enero, formado por 20 páginas a texto corrido (figura 4.1 izqda. arriba).
- Parte 2: originales mecanografiados con figuras esquemáticas dibujadas a tinta (originales) que complementan el texto. Abarca desde las conferencias del 12 de enero hasta la primera conferencia del 24 de enero, aunque esta última ya sin aportar figuras. Está formada, por lo tanto, por 17 conferencias (figura 4.1 dcha. arriba).
- Parte 3: copias directas mecanografiadas, algunas de ellas difíciles de leer, que abarcan desde la segunda conferencia del día 24 de enero hasta el 26 de enero, formada por 5 conferencias (figura 4.1 izqda. abajo).
- Parte 4: primera conferencia del día 27 de enero. Es un original mecanografiado en donde se siguen manteniendo los huecos para insertar las imágenes, aunque ya no se han dibujado.
- Parte 5: conjunto de textos, independientes, sin imágenes, que abarcan desde la segunda conferencia del día 27 de enero hasta el 5 de marzo, formado por 34 conferencias (figura 4.1 dcha. abajo).
- Parte 6. Anexo. Se trata de un conjunto formado por 33 láminas con dibujos originales realizados a tinta por Eduardo Torroja para que se incorporasen en los textos (figura 4.2).

Para pasar las conferencias a papel se emplearon dos sistemas. El taquigráfico, en el que, utilizando una máquina especial, una persona tomaba nota directamente de las conferencias, mientras otra —un auxiliar— escribía los nombres propios y algunas palabras de uso poco frecuente. Una vez transcrito el texto, esta primera versión debía ser revisada para corregir los términos o las expresiones defectuosas, o suprimir frases repetidas. Realizado este trabajo, se trasladaba a la Sección de Mecanografía del Instituto para redactar la conferencia en su versión final.

El otro método fue usar una cinta magnetofónica, en la que una mecanógrafa auxiliada por dos personas pasaba las grabaciones de las conferencias a máquina al día siguiente. Al igual que en el sistema anterior, se debían corregir los textos para obtener la versión definitiva de la conferencia.

Se estudiaron las ventajas e inconvenientes que presentaba cada sistema de transcripción y, dado que ambos sistemas en cuanto a calidad de las versiones eran similares, se propone alternarlos, primando el método magnetofónico por economía.

El documento que nos ha llegado son dos copias. Una que podríamos llamar original, pero que contiene erratas y algunas correcciones manuscritas; era esta la que se aportaba a Eduardo Torroja. El otro documento, una copia del anterior, era para el ingeniero Alfredo Páez, jefe de estudios del curso. Los textos son iguales pero los esquemas dibujados, al ser originales, varían levemente, como se puede observar en la figura 4.3.

4.1. Conferencias del profesor Eduardo Torroja

Leyendo la primera del documento, se puede observar que, aunque la estructuración de las conferencias era por temas, comprendiendo uno o varios días para su exposición, según fue avanzando el curso e intensificándose las materias, estas se hicieron más informales y personales, y se convirtieron en charlas en las que el profesor Torroja compartía su experiencia profesional y personal con sus estudiantes.

FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA

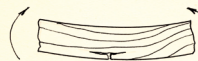
Don Eduardo Torro-
ja Miret, Ingenie-
ro de Caminos.

- Introducción -

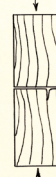
Ilustrísimos Sres.; Sras. y Sres.; son mis primeras palabras de salutación a los ingenieros y arquitectos extranjeros del otro lado de los mares, que han querido atravesar el océano para llegar a este suelo antiguo, suelo patrio, suyo, haciendo ese esfuerzo que nos satisface y nos honra, por cuanto a su presente reconocimiento a nuestra modesta técnica. Es para mí una satisfacción y un honor recibirles, por cuanto a nosotros los españoles, todos los que dialogan el habla española, por estar tan alejados, están más unidos a nuestro corazón. Se hace esencial naturalmente este saludo a los técnicos de otros países que también han venido salvando las dificultades de la lengua y, por último, a los caros amigos españoles y madrileños y, en especial, un saludo de respeto y agradecimiento al Sr. Subsecretario que ha querido inaugurar este Curso, al Director General de Arquitectura y al Director del Instituto de Cultura Hispánica, a cuyas iniciativas se debe el que nos encontremos aquí reunidos. Cumplido este deber, que al mismo tiempo era un deseo para mí, voy a empezar exponiendo el pro-

- 39 -

rotura por deslizamiento entre una fibra y otra. La rotura por separación puede producirse, como ocurre, por ejemplo, si la se cogen un palo y lo rompen a flexión. Todos hemos hecho de chi cos el romper un palo contra la ro dilla; es muy corriente encontrar un resqueido de rotura en algún pu to débil, algún nudo o un defecto cualquiera, es decir, en fibras lon gitudinales; e inmediatamente se pu duce una separación de fibras, porque el esfuerzo de flexión y el cortante producen el deslizamiento de fibras antes de la ro tura longitudinal.



La madera presenta otro problema que se presenta en otros muchos materiales que veremos más adelante: el enlase. La madera no es formosa, no se puede formar allí de una vez; viene hecha por la naturaleza, y los enlases en la madera tienen mala solución en general. El enlase puede ser a compresión, a tracción o a cortante. Un enlase a compresión ya es malo en la madera, porque es muy difícil -



que el corte sea completamente perpendicular, y si tenemos que enlazar dos maderas, el corte debe ser perpendicular para que apoyen todas las fibras, pero aunque esto se lo gre, como las fibras no se van a co rresponder y son unas más duras que otras, el parénquima, resulta que se da una pincha fácilmente en lo blan do de la otra. Pero además, como no estamos en charisteria que estamos en construcción, no se logran esas superficies perfec-

- 138 -

entre unos y otros debe ir triangulada, y hay fu alta poner unas cuerdas diagonales entre cuerdas para que no puedan pu doar todas simultáneamente como hacía aquel tendido de bordi en que todas pendían a la vez. Hay fu alta que en el otro plá no de cubierta haya también triangulaciones para que no puedan moverse transversalmente y con triangulación de cuerdas siem piente se debe poner en las barras comprimidas, entre las en barras de compresión y no es necesario en la de tracción. En fin esto ya corresponde a elementos estructurales completos en el espacio como es el sistema de cubierta o de puente de trazo inferior u otros que ya constituyen unos complejos estructurales.

A. 26-1-1956

Para terminar con estructuras trianguladas quiero hablar de los enlases en que las dos cubetas, o por lo menos, una de ellas, es curva; cosa bastante racional, puesto que lo mismo que habíamos visto en la viga de alma llena que hay una forma de igual resistencia, las mismas formas deben servir, más o menos, para las trianguladas. Si es una viga apoyada, la ley de momentos nos lleva a la viga parabólica que naturalmente se ha llamado, la viga compresible. Si es una viga continua, como la ley de momentos tiene unas curvas máximas sobre los apoyos, de modo que no debe llegarse a ing

A - 24 - II - 56

24-2-A

Vamos a ver unos cuantos ejemplos de cubiertas curvadas o laminadas es decir de estructura superficial, bóvedas afijas, etc. y dejé de lado las más corrientes, las clásicas podríamos decir dentro de la construcción, la norma podríamos decir del siglo pasado para ser, de cubiertas formadas por un material de cobertura independiente normalmente tejas de cerámica o de algun fibracemento, etc., que necesitan una estructura separada de estructura sustentada formada de elementos prismáticos o piezas rectas en general, formando ris cercos, prismáticos, cuerdas, en fin sistemas clásicos, podemos decir, el corriente de cubierta. Estructura Evidentemente este tipo de cubierta nació con la madera y se ha desarrollado principalmente con el hierro, porque como ya dije es homogéneo armado y el mismo pretensado, sobre todo estructura prescindiendo de los últimos adelantos de la prefabricación al hormigón se presta mal estos tipos de estructura por la gran superficie específica de enfrado que ne cesita, requiere grandes superficies de enfriado para piezas pequeñas, por consiguiente se presta menos que el hierro y la madera y por el contrario los otros dos materiales no se prestan a estructuras superficiales y tienen que acudir fundamentalmente a la triangulación. Ayer en la conferencia del Sr. Andrie vi ron Vda. muchos ejemplos de cubiertas de este tipo en que los elementos principalmente de cercha tenían triangulaciones de uno y otro tipo corrientemente patent dos pero que si bien determinaban la forma en realidad no se separan del conjun to en cuanto a sus bases fundamentales podríamos decir. Prescindiendo ahora de soluciones en edera muy antiguas y empezando con el problema más sencillo de cubie de una nave rectangular, encontramos un ejemplo (diagnóstico) que si bien, Santa María de Nova, tiene de 1077, en realidad es una que si bien tardía reproducción de iglesia prerománica, es decir de la época po bre, en que latitudes de construcción volvió en cierto modo a sus orígenes, la nave es rectangular y está dividida por una serie de arcs, o mejor que de arcs, de elementos trans versales con aligeramientos suficientes para no interrumpir la nave

Figura 4.1. Varias páginas del documento. Izqda. arriba: Página correspondiente a la conferencia del día de la inauguración, 11 enero de 1956. Figura perteneciente a la parte 1 del documento del curso. Dcha. arriba: Página correspondiente a la segunda conferencia del día 16 de enero. Parte 2 del documento. Izqda. abajo: Página correspondiente a la última conferencia del día 25 de enero y la del día 26 de enero. Parte 3 del documento. Dcha. abajo: Página correspondiente a la segunda conferencia del día 24 de enero. Parte 5 del documento. FUENTE: Archivo IETcc.

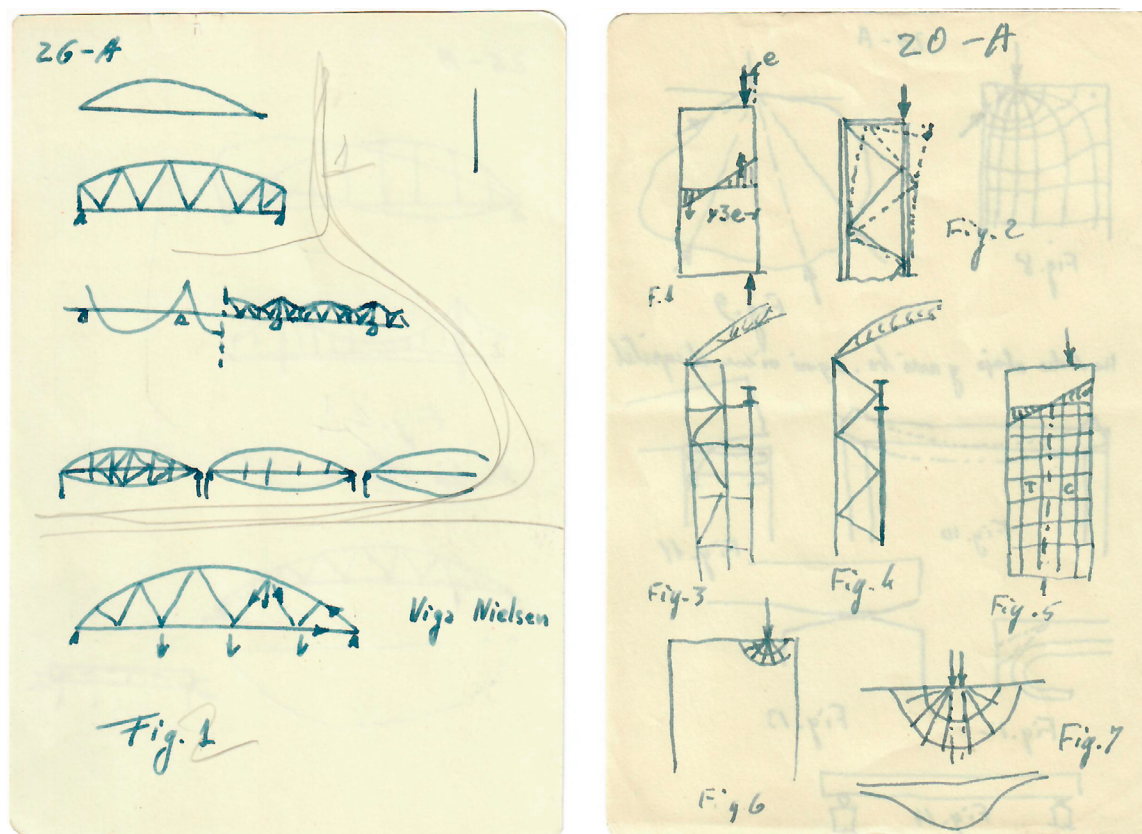


Figura 4.2. Dibujos realizados por Eduardo Torroja que eran aportados al delineante para su incorporación en los textos mecanografiados. FUENTE: Archivo IETcc.

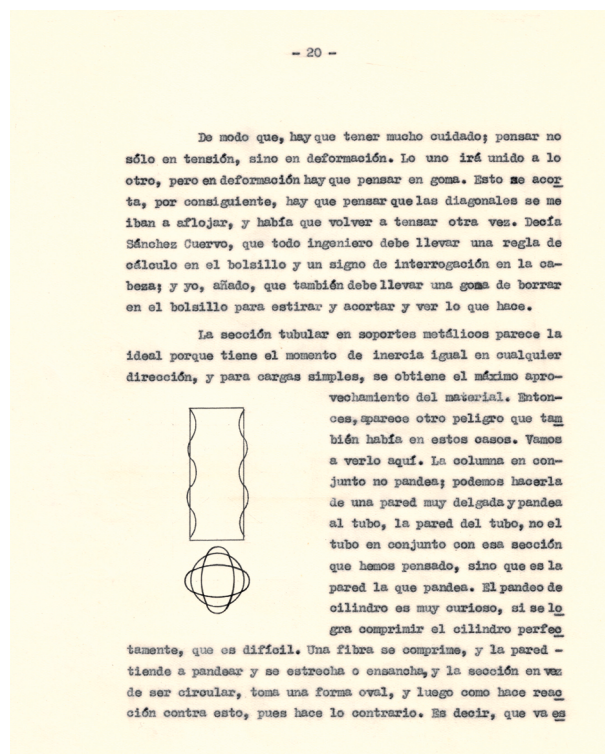
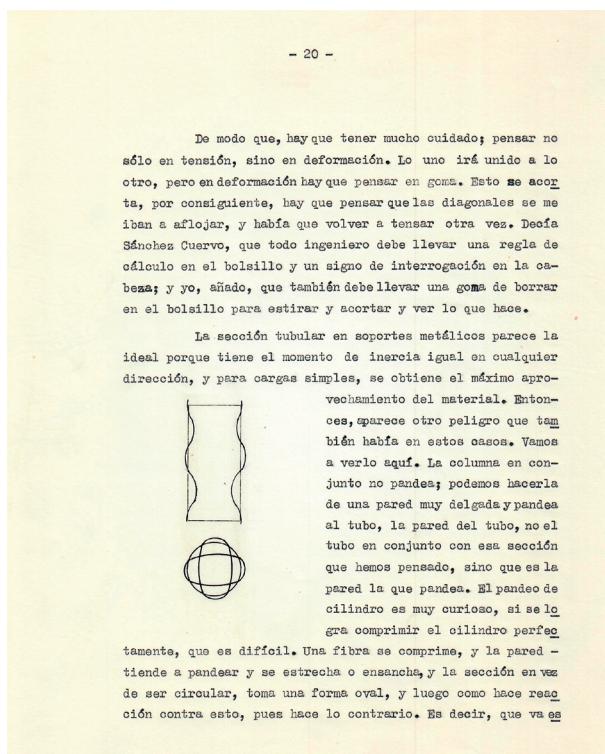


Figura 4.3. Página perteneciente a la segunda conferencia del día 19 de enero de 1956. Los dibujos esquemáticos que acompañan a los textos son originales, dibujados a tinta negra, pero variando levemente su definición. Los dibujos realizados en el documento para entregar a Eduardo Torroja (ejemplo de ello la figura de la izquierda), al delinearse por primera vez, son menos precisos que los de la copia de Alfredo Páez (figura derecha). FUENTE: Archivo IETcc.

Las conferencias podían comenzar matizando conceptos, resumiendo lo dado, contestando o haciendo preguntas, a fin de dinamizar a la audiencia.

Hay temas que se tratan como novedosos tanto en lo que se refiere a los materiales como a la explicación de sistemas constructivos o a las formas de enfocar el cálculo estructural que, sin embargo, actualmente están ya superados. Pero esto no supone un hándicap. Cuando se leen los textos, podemos encontrar respuestas a por qué no se caen las cosas, o descubrir la importancia que tiene la elección del material en el proceso constructivo, o la trascendencia que tienen el transporte, la mano de obra y los medios auxiliares en la economía de la obra. De esta manera, despierta el espíritu crítico, incluso a un lector actual.

A continuación, se expone brevemente el contenido de cada una de las conferencias. A falta de un índice claro en el documento, las autoras han añadido un título a cada conferencia y han extraído los temas clave de cada una de ellas. Se puede observar que, aunque en principio llevan un orden lógico, en ocasiones se retrocede a temas ya tratados, posiblemente debido a preguntas de los alumnos u oyentes

que obligaban al profesor Torroja a retomar ciertas cuestiones ya expuestas.

El objetivo de sus conferencias-charlas (figura 4.4), como el propio Eduardo Torroja indicaba, no era resolver ecuaciones, realizar cálculos o encontrar atajos matemáticos. Sus lecciones explicaban el porqué del comportamiento estructural, la importancia de la alianza con el material, la influencia del medio, la trascendencia del transporte, de la mano de obra, de los medios auxiliares, para conseguir obras ante todo bellas y elegantes. Esto hace que el ingeniero Torroja sea considerado un artista estructural.

Cada conferencia está identificada con el día en que se impartió, y una letra, A o B. La A corresponde a la primera conferencia de la tarde, de 19:00 a 20:00 h, y la B, a la segunda conferencia, de 20:15 a 21:00 h.

DÍA 11 DE ENERO. CONFERENCIA INAUGURAL DEL CURSO

Introducción

Condiciones de una forma resistente. Cumplir con la finalidad de la obra. Resistente. Elegante. Económica.



Figura 4.4. El profesor Torroja en una de las conferencias en el salón de actos del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. FUENTE: Archivo IETcc.

El material.
Influencia del material en el tipo estructural y viceversa.
La elección del tipo estructural.
Las dimensiones.
El proceso constructivo.
Argumentos deductivos e inductivos. La idea-ción.
El arte de proyectar estructuras.

DÍA 12 DE ENERO. CONFERENCIA A

Bases del problema resistente

Nociones fundamentales resistentes.
Estructuras: incompleta, estática o isostática, e hiperestática.
Influencia de las fuerzas en la forma de un edificio.
Equilibrio de las partes y del conjunto.
Relaciones entre la obra real y el modelo reducido.
Equilibrio y resistencia.
El sentido mecánico de las cosas.
Equilibrio, estable, inestable e indiferente.
Los modelos y los materiales.
Deformabilidad. Pandeo.
Teorema de Castigliano.

DÍA 12 DE ENERO. CONFERENCIA B

Bases del problema resistente (cont.)

Importancia de los modelos reducidos para estudiar la seguridad y el equilibrio.
El estado tensional.
Clases de esfuerzos.
El plexo tensional.

DÍA 13 DE ENERO. CONFERENCIA A

Bases del problema resistente (cont.)

Establecimiento del plexo tensional. Direcciones principales. Punto singular.
El plexo-deformacional.
Compresión, tracción y cortante.
Cohesión y rozamiento interno.
Rotura frágil y rotura dúctil.
Curva de resistencia intrínseca de un material.
Curva envolvente de los estados de rotura.
El equilibrio.
Las deformaciones.

Las vibraciones.
El pandeo.

DÍA 13 DE ENERO. CONFERENCIA B

El material

Grupos de materiales. Materiales frangibles que resisten bien la compresión y muy mal la tracción (piedra, ladrillo y hormigón). Maderas. Hierros y aceros. Hormigón armado y pretensado.
Influencia del material en el tipo estructural como unidad de obra.
Ejemplos. Mampostería, cantería, sillería. Fábrica de ladrillo. Hormigón sin armar. No estructurales: el adobe y el tapial.

Piedra

Revisión histórica.
Muros ciclópeos. Mampostería y sillería rejuntados con mortero. Cantería. Aparejos.
La expresión estética del material.
Durabilidad.
El coste económico.
Piedra sin función resistente: el plaqueado. Colocación en obra.

Ladrillo

La fábrica de ladrillo. El espesor, el aparejo. El mortero. Las juntas.
Expresión estética de las fábricas.
Durabilidad.
Influencia de la mano de obra en el coste económico.
Influencia del mortero y del espesor de las juntas en la deformación y retracción de las fábricas.
El ladrillo prensado.

DÍA 16 DE ENERO. CONFERENCIA A

Ladrillo (cont.)

El ladrillo frente a la piedra.
La fábrica de ladrillo y su dependencia del mortero de las juntas.
La rasilla. Los tabiques de panderete. Bóvedas, terrazas.
Realización de formas resistentes muy grandes, de diferentes curvaturas, facilidad de ejecución, sin necesidad de encofrado.

El ladrillo armado

Colocación de armaduras de pequeño diámetro, repartidas en las juntas o entre una rosca y la otra de ladrillo. Material capaz de resistir tracciones y compresiones. Gran libertad de formas.

El adobe y el tapial

El muro. Importancia del mantenimiento. Aportación de cemento o cal, mejora su resistencia y durabilidad.

El hormigón

Componentes. Puesta en obra. Costes económicos: los encofrados y el periodo de endurecimiento.

Química del material. Influencias sobre las propiedades mecánicas.

La retracción. Las deformaciones lentas, diferidas, elásticas. La fatiga.

Deformación del hormigón ante las cargas. El agrietamiento.

El comportamiento elasto-visco-plástico.

La durabilidad.

El hormigón aerocluso. Sin interés estructural. Resistencia a la heladicidad.

Los hormigones inyectados.

La estética del hormigón. Influencia del encofrado en la textura superficial. Influencia de los áridos.

Importancia de la madera y del hierro como materiales esenciales que influyen en la elección del tipo estructural.

DÍA 16 DE ENERO. CONFERENCIA B

La madera

Propiedades.

La estética.

Influencias de la dirección de las fibras en la resistencia mecánica. Propiedades mecánicas.

Los enlaces. Tipos de enlaces. Influencia en las limitaciones estructurales.

Ejemplo de utilización de la madera en una obra de alta ingeniería: la cimbra del puente de Plougastel de Eugène Freyssinet.

Piezas encoladas con colas sintéticas.

Resistencia mecánica. Durabilidad. Enlaces.

Contrachapado. Usos.

Comparación mecánica con los materiales frangibles.

Materiales metálicos

La fundición, usos.

El acero moldeado y forjado, usos.

DÍA 17 DE ENERO. CONFERENCIA A

Acero laminado

Propiedades.

Alto coeficiente económico resistente.

Tipos de perfiles.

Uso: las estructuras ligeras de grandes dimensiones. Los elementos pequeños.

Enlaces. Roblonado. Soldadura.

DÍA 17 DE ENERO. CONFERENCIA B

Acero laminado (cont.)

La técnica de la soldadura. Tipos. Ensayo. Ejemplos.

Hormigón armado

Compatibilidad del acero y del hormigón.

Material adecuado-resistente.

La diferente retracción de los dos materiales. Su comportamiento.

Cuantías y disposición de las armaduras. Recomendaciones.

La transmisión de esfuerzos. El enlace.

La fisuración. La microfisuración. La rotura.

El encofrado y la cimbra.

El endurecimiento.

La estética del hormigón.

DÍA 18 DE ENERO. CONFERENCIA A

Hormigón pretensado

La fisuración.

Pretensado y postesado.

Usos. Hormigón pretensado, la prefabricación. Hormigón postesado, las grandes construcciones de ingeniería.

Ventajas. Coeficiente económico resistente del pretensado

El acero en el hormigón armado y en el hormigón pretensado.

Hormigón armado versus hormigón pretensado.

La prefabricación. La calidad de los elementos. Los enlaces.

El cálculo.
La durabilidad.
La esbeltez de los elementos.
El coste económico. La puesta en obra.
El hormigón pretensado y E. Freyssinet.

DÍA 18 DE ENERO. CONFERENCIA B

Hormigón pretensado (cont.)

El coeficiente de seguridad del hormigón pretensado.

El terreno, un material de construcción

La heterogeneidad del terreno en España.
Tipos de terrenos. Terreno duro. Terreno blando: terreno árido (arena) o terreno plástico (arcilla).
Influencia del terreno en el tipo de cimentación.
Influencia de la cimentación en el tipo estructural.
Terrenos. Tipos de rotura.

DÍA 19 DE ENERO. CONFERENCIA A

Hormigón traslúcido

Elemento laminar de espesor fijo, compuesto por vidrio, cemento y armadura.
Cálculo.

Aluminio

Durabilidad. Aleaciones. Productos.
Elementos para estructura secundaria de la fachada.
Coeficiente económico-resistente.

DÍA 19 DE ENERO. CONFERENCIA A

Elementos constructivos. El soporte

Diferencias entre soporte y columna.
La columna como emblema, como representación de una época y civilización.
El material de la columna.

La columna de piedra

La columna monolítica. La columna realizada por bloques, sillares con juntas, las pilastras.
La columna clásica. Partes de la columna clásica: capitel, fuste y basa. Justificación de las partes. Funciones.

La estética. Cuando la tendencia del gusto va en contra de la técnica.
Conceptos generales de las columnas:
La compresión simple. El plexo.
La deformación. El plexo.
La rotura.

El soporte de madera

Rollizo de madera.
El pandeo. Atadura con cuerdas de varios rollizos. La columna.

La columna de hormigón armado

Predimensionamiento.
La esbeltez. El pandeo.
Importancia de las columnas zunchadas.

DÍA 19 DE ENERO. CONFERENCIA B

El soporte metálico. Acero laminado

Alto valor tensional del material.
El pandeo.
Influencia de los enlaces en el soporte.
Relación entre el momento de inercia y la longitud equivalente, punto de articulación o punto de inflexión.
Pilar o soporte compuesto triangulado o con llaves.
Predimensionamiento.
Ejemplos de comportamientos. Tensión-deformación.

La columna de fundición

Utilización de la forma tubular.
Empleo como refuerzo de soportes de hormigón armado. Escuela de Viena.
Conceptos generales de los soportes.
La excentricidad, compresión, tracción. El plexo.
La flexión.

DÍA 20 DE ENERO. CONFERENCIA A

El soporte (cont.)

Carga a compresión excéntrica sobre un soporte.
Comportamiento.
Carga a compresión excéntrica sobre estructura triangulada metálica.
Plexo-tensional. Análisis.
Articulación. Soportes.

Articulación. La rótula. Soporte-viga. Casos.
Las entalladuras en soportes. El plexo.
El taladro circular en elementos de construcción.
Influencia de la dimensión. Plexos tensionales. Análisis.
El soporte inclinado.
Análisis estructural según el material.

DÍA 20 DE ENERO. CONFERENCIA B

El muro

Funciones: cerrar, soportar cargas encima y la de contener empujes de tierras, agua, etc.

Muros de materiales frangibles

Muro de piedra ciclópeo. Muro de hiladas horizontales y juntas contrapeadas.
Muro de ladrillo. La retracción vertical y horizontal.
Muro de hormigón en masa. La retracción. Las juntas verticales.

Muros de contención

La estabilidad.
Análisis tensional del plexo del muro.
El vuelco. El deslizamiento. Conclusiones del estudio del plexo del muro.
La forma del muro.

La presa triangular

El plexo tensional.

DÍA 23 DE ENERO. CONFERENCIA A

El soporte roblonado y soldado

Formas de los soportes. Formas abiertas y cerradas.
Resistencia al pandeo.
Colocación de diafragmas en torres triangulares o macizas de chapa.

La viga

Revisión histórica.
El material.
Análisis estructural.
Piezas alargadas.
Flexión elemental. Reparto de tensiones en el interior de la viga. Flexión pura y flexión simple.
Tensión cortante. El plexo.
Centro focal.

Piezas cortas.
La esbeltez, relación luz-canto.
Reparto de tensiones en el interior del elemento.
El plexo.
Momentos de inercia.
Sección-forma óptima para cada material.
Predimensionamiento.

DÍA 23 DE ENERO. CONFERENCIA B

La viga metálica compuesta

Predimensionamiento.
Piezas metálicas no simétricas.
Pandeo. Torsión.
Vigas de gran canto compuestas. Vigas de alma llena compuestas.
Rigidizadores.
Punto o carga de bifurcación.
Análisis pandeo en vigas metálicas.

Vigas de hormigón armado

Análisis de la resistencia. Soluciones.
Predimensionamiento.

DÍA 24 DE ENERO. CONFERENCIA A

Vigas de hormigón pretensado

Comparativa con una viga de hormigón armado.
Análisis tensional de una viga de hormigón pretensado.
Tamaños óptimos.

El pretensado en vigas metálicas

Estructuras metálicas trianguladas de gran luz.
Influencia de las variaciones térmicas.
Vigas mixtas, acero y hormigón armado.
Análisis tensional.

DÍA 24 DE ENERO. CONFERENCIA B

La viga (cont.)

Teoría de vigas. Vigas empotradas. Análisis tensional. Análisis de momentos. Método de Cross.
Conclusiones.

Vigas flotantes

Análisis tensional.

Tubos

La torsión.

DÍA 25 DE ENERO. CONFERENCIA A

Hormigón pretensado (cont.)

Conceptos básicos para el cálculo. Coeficiente de seguridad respecto a la rotura y para la fisuración.

Secciones óptimas. Torsión. Flexión.

Viga continua

Forma óptima.

Análisis de la viga Gerber.

Análisis estructural vigas continuas.

La triangulación

La cubierta a dos aguas.

Revisión histórica.

Utilización de la madera. El sistema de cuchillo español.

El hierro, material idóneo para este sistema.

Tipos de triangulaciones.

Las uniones.

Esfuerzo primario y esfuerzo secundario.

Análisis estructural.

DÍA 25 DE ENERO. CONFERENCIA B

La triangulación (cont.)

Análisis estructural, continuación.

Análisis de las estructuras trianguladas desde el material (acero, madera, hormigón armado y pretensado).

Tipos estructurales.

Coste económico.

Apoyos.

Modelos.

DÍA 26 DE ENERO. CONFERENCIA A

La triangulación (cont.)

Estudio de casos. Cuando la cabeza es una curva.

Viga parabólica o semiparabólica. Viga tipo Nielsen. Puentes Nielsen.

La viga no triangulada, viga Vierendeel.

Viga mixta.

Fórmulas aproximadas para triangulaciones.

DÍA 26 DE ENERO. CONFERENCIA B

Vigas (cont.)

Análisis del plexo tensional en una viga empotrada. Puntos singulares.

Viga Linville.

El arco

Clases de arcos. Falso arco. Arco acompañado. Arco exento.

Historia de su formación/construcción. Materiales empleados.

DÍA 27 DE ENERO. CONFERENCIA A

El arco exento

Caso 1: Cuando la directriz coincide exactamente con el funicular. El arco trabajando a compresión simple.

Análisis estructural. Dimensiones de los arcos.

Análisis de la influencia del material.

Caso 2: Cuando el arco entra en compresión por efecto de las cargas.

Análisis estructural. Cargas. Estudio de los funiculares.

El centro elástico.

Estudio: el arco del puente de Plougastel de E. Freyssinet.

Análisis estructural de arcos empotrados. Triarticulados, biarticulados, monoarticulados.

Formas de la sección en hormigón.

Dificultad en los encofrados.

DÍA 27 DE ENERO. CONFERENCIA B

El arco (cont.)

Las articulaciones en el arco triarticulado. Soluciones.

El arco. Ventajas e inconvenientes.

Secciones óptimas.

Análisis estructural.

El plexo del arco.

Formulas prácticas de primera aproximación para dimensionado de arcos.

Ejemplos.

Resumen de los elementos resistentes lineales.

DÍA 30 DE ENERO. CONFERENCIA A

Estructuras superficiales. La bóveda

Repaso histórico.

Funiculares más apropiados.

Los primeros materiales: adobe, ladrillo.
 Los empujes.
 La bóveda y el hormigón armado.
 Sistema bóveda-viga.
 Utilización de soportes aislados.
 Incorporación de marcos de rigidez.
 Las láminas. La esbeltez. La flexión. Fr. Dischinger y U. Finsterwalder.
 Utilización de la forma de la lámina para controlar resistir tensiones. El pandeo.

La membrana

Análisis estado tensional.
 Ejemplos.

DÍA 30 DE ENERO. CONFERENCIA B

La lámina cilíndrica

El tubo.
 Análisis teórico. Análisis tensional.

DÍA 31 DE ENERO. CONFERENCIA A

Lámina cilíndrica (cont.)

La mitad de una lámina cilíndrica.
 Usos.
 La membrana cilíndrica pretensada.
 Análisis tensional. El pandeo.
 Tensión de cálculo admisible para láminas larga y corta.
 Aproximación al análisis tensional, otras directrices: elipse, elipse rebajada, cicloide, parábola.
 La placa.

DÍA 31 DE ENERO. CONFERENCIA B

Lámina cilíndrica (cont.)

Utilización del enlazado de láminas para controlar la flexión.
 Estudio de caso: el Frontón Recoletos de E. Torroja.

DÍA 1 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Lámina cilíndrica (cont.)

Los bordes. Análisis de los plexos tensionales.
 Estudio de casos.

DÍA 1 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Lámina cilíndrica (cont.)

El pretensado y las láminas. Posibilidades.
 Rigidizadores en las láminas cilíndricas según directrices. La componente estética. Ubicación en la lámina. Influencia en el encofrado.
 Ejemplos.

DÍA 2 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Estructuras abovedadas

Análisis obras de Pier Luigi Nervi.

DÍA 2 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Cúpulas

Repaso histórico de la cúpula.
 Análisis estructural, del material y de la forma de las cúpulas.
 Ejemplos construidos.

DÍA 3 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Cúpulas (cont.)

Análisis estructural de cúpulas, casquetes esféricos, bóvedas elípticas. Revisión de casos/ ejemplos construidos.

DÍA 3 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Cúpulas (cont.)

Cúpulas incompletas. Los apoyos.
 Estudio/análisis de ejemplos.

DÍA 7 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Cúpulas (cont.)

Los rigidizadores.
 Las triangulaciones y las superficies de revolución continuas de hormigón. Similitudes.

Superficies regladas alabeadas

Historia.
 El proceso constructivo. Hormigón armado. Piezas cerámicas, la rasilla.
 El contorno.

Ejemplos.
Estudio del caso de la pompa de jabón.

Superficies planas

El plano. El plano vertical. El plano horizontal.
La estructura poliédrica, el plano inclinado.

DÍA 7 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

La losa

La flexión. La torsión.

La placa

La placa circular. La placa rectangular. La placa cuadrada. Otras formas.
La flexión. La torsión.
El material optimo, el hormigón armado.
Predimensionamiento.
La rotura.
Ejemplos obras construidas.

DÍA 8 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Cubiertas colgadas o extensibles. Malla tesa

Condiciones de equilibrio tensional.
Estudio de la superficie geométrica que se puede formar.
Superficies minimales tensionalmente estables.

DÍA 13 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Malla tesa (cont.)

Problemas de contorno.
Formas de trazar una superficie.
Densidad de malla. Línea de máxima curvatura.
Geodésica.
Influencia de la temperatura, el viento y la nieve.
Elección del contorno.
Búsqueda de funiculares.
El material de cobertura.

DÍA 13 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Malla tesa (cont.)

Los bordes.
La rigidez. Los elementos rigidizantes.
Ejemplos de obras.

DÍA 14 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Malla tesa (cont.)

La malla tesa, reflexiones finales.

Contención de tierras

Elección de una estructura o elemento.
Los empujes.
Elección del material.
Comportamiento de la estructura elegida. Variaciones.
Volumen mínimo. Peso mínimo. Condiciones de estabilidad.
El terreno.

DÍA 14 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Pantallas

Los anclajes. El terreno. El talud.

Presas

Influencia del proceso constructivo y del material.

DÍA 15 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Contención en depósitos de agua y depósitos de carburante

Depósito de agua enterrado o semienterrado. Depósito de agua elevado.

Depósito de agua enterrado o semienterrado

Elección de materiales para su construcción.
Limitaciones.
Formas idóneas utilizadas.
Soluciones de planta rectangular, cuadrada, circular, elíptica.
Su relación con el terreno.
Los contrafuertes. Dimensionado.
Análisis estructural de un depósito de planta circular.
Estructura: lámina cilíndrica de eje vertical y una solera.
Estudio del depósito de aguas de Oviedo del ingeniero Ildefonso Sánchez del Río.
Análisis estructural y constructivo en el caso de dos depósitos.
Soluciones para el cierre superior. La cubierta.

Depósito de agua elevado

La cuba y la sustentación.
Forma de la cuba. Superficie de revolución.
Análisis estructural.
La sustentación.
Análisis estructural y constructivo.
Soluciones: castillete, soportes, muros continuos de ladrillo u hormigón. Referencia a la utilización de ladrillo armado.¹
Análisis de la razón estética.
Elección de formas y materiales.
El coste económico.

Depósitos carburante gasolina

Depósitos metálicos soldados o de hormigón.
Condición: la impermeabilización.
Análisis de las formas.
Estudio de un depósito sumergido en el agua del mar.

DÍA 15 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

La envoltura del espacio arquitectónico

Condiciones.
La superficie continua impermeable.
Independencia del material estructural.
Elección del material de cobertura.
Ejemplos. La fisuración. La estructura y el material impermeabilizante.
La cubierta del Mercado de Algeciras, de E. Torroja.
Casos. Soluciones cierres de espacios mediante elementos que trabajan a flexión: vigas, cerchas a dos aguas clásica, o arco bóveda como variante de la cúpula. La catenaria.
Casos. Hangares para dirigibles de Orly, de E. Freyssinet.
Método Willing.
Iglesia Pont de Suert, de E. Torroja.

DÍA 16 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

La envoltura del espacio arquitectónico (cont.)

El tirante en las bóvedas.
Razón de su colocación.
Ubicación de los tirantes.

Cúpulas. Es casquete esférico. La cúpula cónica

Estudio de casos.

DÍA 16 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Cúpulas. El casquete esférico. La cúpula cónica (cont.)

Estudio de casos. Cúpulas, estructuras plegadas, viga díptera.

DÍA 24 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Resumen materiales empleados en cubiertas trianguladas: madera y hierro

Santa María de Noia, ejemplo económico de cómo trabaja un conjunto estructural.
Utilización del material con relación al clima.
Situación de la iluminación con respecto del tipo estructural del sistema y el material.
Influencia de la iluminación en el tipo estructural y en la forma y altura de las naves.
Otros ejemplos de materiales tracciorresistentes para soluciones porticadas.
Ejemplos de los condicionantes de la propiedad en las soluciones estructurales.
Ejemplos de soluciones con lucernarios transversales.

Perfil en diente de sierra

Materiales empleados, tipos estructurales para salvar las luces, influencia del material.

DÍA 24 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Perfil en diente de sierra (cont.)

Ejemplos de dientes de sierra, utilización con conoides, cilindros inclinados.
Ejemplos de utilización de jácenas. Diferentes disposiciones.
Ejemplos de salas mediante triangulaciones metálica o de madera de diferentes dimensiones.
Ejemplos de estructuras singulares.

DÍA 27 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

Puentes

El material. La luz a cubrir.
Análisis estructural.

1. Nota del editor. La llamada cerámica armada, de Eladio Dieste. Véase anexo 3.

Ejemplos. Puente colgante Golden Gate en la bahía de San Francisco, California. Puente en ménsula o cantiléver de Forth, en Escocia. Puente con viga de alma llena Britannia, estrecho de Menai. Puente de Hohenzollern en Colonia. Puente Lafayette en Lyon.

DÍA 27 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

Puentes (cont.)

Análisis estructural de los puentes.

DÍA 29 DE FEBRERO. CONFERENCIA A

El piso en edificación

Historia de los primeros pisos.
El material.
Forjados unidireccionales.
La placa. Forjados bidireccionales.
Sistema de apoyo.
El espesor de los elementos. El canto de las vigas.
Luces, dimensiones.
Análisis estructural.
La transmisión del sonido.
Utilización de elementos prefabricados.
Empleo de bóvedas. La altura de la habitación que cubre.

DÍA 29 DE FEBRERO. CONFERENCIA B

El piso (cont.)

Búsqueda de la economía: bóvedas prefabricadas. Bóvedas tabicadas.
Resumen: la flexión. El canto del elemento. La altura del forjado. El coeficiente de seguridad.
Estudio de casos.
La economía. Soluciones.
El espesor de los forjados.

DÍA 1 DE MARZO. CONFERENCIA A

Resumen de los temas expuestos

Ideas generales.
Condiciones que encaucen la obra.
Búsqueda de resultados.
Conclusiones.

DÍA 1 DE MARZO. CONFERENCIA B

La claridad estructural

Cómo trabaja una estructura.
La elección del material.
Coordinación de materiales diferentes en un mismo tipo estructural.
Utilización de diferentes tipos estructurales dentro de un conjunto.
Influencia de los encofrados y las cimbras.
La prefabricación.
Ejemplos.

DÍA 2 DE MARZO. CONFERENCIA A

La construcción de la estructura

Influencia del proceso de construcción y el tipo de estructura en construcciones de escala intermedia (auditorio, grandes cubiertas).
No influencia del proceso de construcción y el tipo de estructura en las obras de máximo volumen (presas) ni en las obras de pequeños elementos (edificio corriente de viviendas).
Operaciones influyentes en el conjunto estructural: el material. El transporte. El sistema de montaje. Los medios auxiliares: el encofrado y el cimbrado. Los equipos mecánicos. El proceso de fabricación. La mano de obra.
Influencia en la concepción del tipo estructural y de la calidad de la construcción de elementos prefabricados y las realizadas in situ.
Influencia del proceso constructivo en el estado definitivo de la estructura y en los periodos intermedios.
Ejemplos de tipos estructurales.

Puentes (cont.)

Viaducto Martín Gil sobre el embalse de Ricobayo (río Esla), de los ingenieros F. Martín Gil, E. Torroja y A. Salazar.

DÍA 2 DE MARZO. CONFERENCIA B

Puentes (cont.)

Viaducto Martín Gil sobre el embalse de Ricobayo (río Esla), de los ingenieros F. Martín Gil, E. Torroja y A. Salazar. Continuación del proceso constructivo.
Puente de Pedrido, de los ingenieros E. Torroja y C. Villalba.

Acueductos

Ejemplos de acueductos. Explicaciones del proceso constructivo.
Acueducto de Tempul, del ingeniero E. Torroja y del arquitecto A. Mayo.

DÍA 5 DE MARZO. CONFERENCIA A

Acueductos (cont.)

Acueducto de Tempul en Jerez de la Frontera.
Acueducto de Alloz en Navarra.
Adecuación tipos estructurales y procesos constructivos.
Puentes y acueductos.
Reutilización del encofrado.
La disminución de andamiaje y cimbra en grandes alturas.
Determinación sección de un arco.
Cambio de tipo del arco al puente colgado.
Caso: forma resistente para retirar el encofrado rápidamente.
Caso: instalación de un tirante intradós de las bóvedas. Los empujes. Soluciones al traslado del encofrado.
Ejemplo: la sección transversal en forma de greca de los hangares de Orly, de Eugène Freyssinet.
Caso: reducción del encofrado en cúpulas. El hormigonado por anillos. Utilización de piezas prefabricadas.
Caso: el pandeo en cúpulas gran diámetro y altura. La utilización de rigidizadores horizontales.
Ejemplo: sala de Turín, de Pier Luigi Nervi.
Caso: bóvedas de ladrillos por hojas.

DÍA 5 DE MARZO. CONFERENCIA B

El proceso constructivo

El diferente comportamiento de los elementos estructurales durante el proceso constructivo y los esfuerzos.
Influencia de los detalles en la elección del tipo estructural.
Ejemplos de estructuras de hormigón armado, metálicas y ladrillo.

En el documento original se indica que el curso terminó el 9 de marzo con un total de 77 conferencias (60 según carta de Torroja), pero algunas de esas conferencias lamentablemente no se han podido consultar, bien por estar extraviadas, o bien por-

que no llegaron a transcribirse. El número de conferencias conservadas es de 58 (tabla 4.1).

4.2. Conferencias de los especialistas invitados

Las conferencias impartidas por ingenieros y arquitectos de gran relevancia internacional y nacional se impartieron durante el mes de febrero, intercambiándose con lecciones teóricas dadas por Eduardo Torroja (figura 4.5). Los conferenciantes invitados fueron:

- Buenaventura Bassegoda, arquitecto, el día 6 de febrero, que trató sobre *Bóvedas tabicadas*.
- Richard J. Neutra, arquitecto, el día 9 de febrero impartió la conferencia sobre *La nueva importancia de la estructura*.
- Pedro Martínez Artola, ingeniero de caminos, el día 10 de febrero, sobre *Formas de presas*.
- Miguel Fisac, arquitecto, el día 17 de febrero, sobre *Expresividad estética de las estructuras* (véase figura 4.6 izqda.).
- Vicente Roglá, ingeniero de caminos, el día 20 de febrero, sobre *Láminas y pirámides*.
- Carlos Benito, ingeniero de caminos, los días 21 y 22 de febrero, sobre *Comprobación y dimensionamiento experimental de estructuras*.
- José María Aguirre, ingeniero de caminos, el día 23 de febrero, sobre *Aspectos económicos de las formas resistentes*.
- Francisco Prieto-Moreno, arquitecto, director general de Arquitectura, el día 28 de febrero con *La Alhambra* (figura 4.6 dcha.).

Las conferencias impartidas por B. Bassegoda, V. Roglá y J. M. Aguirre se trasladaron a papel y se conservan. De P. Martínez, M. Fisac, C. Benito, F. Prieto-Moreno y R. J. Neutra se conservan los resúmenes para las notas de prensa.

Tanto a las conferencias diarias del profesor Torroja como a las de estos especialistas, además de los alumnos, podía asistir cuanto personal exterior del Instituto quisiera (figura 4.7). Para ello el Instituto realizó una intensa comunicación en medios radiofónicos, prensa escrita, colegios profesionales y escuelas universitarias para publicitar estas conferencias (figura 4.8).

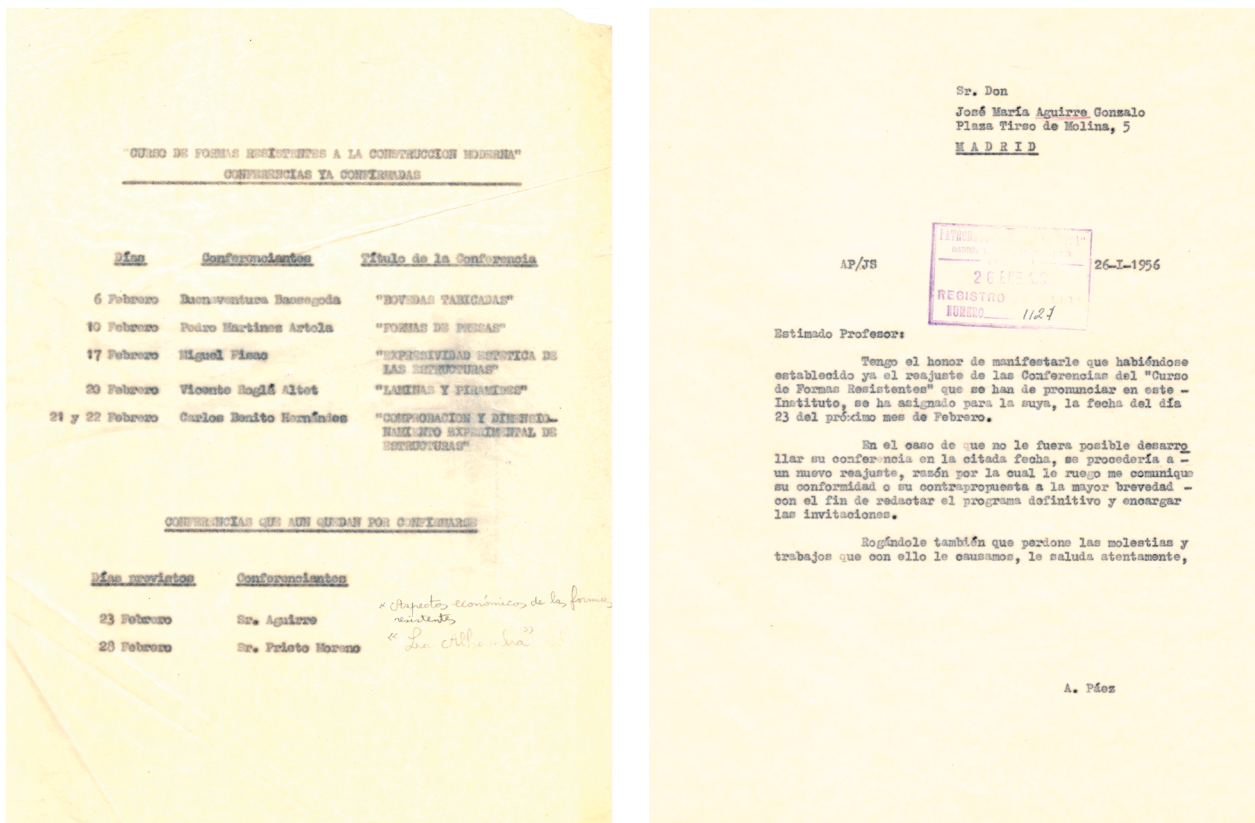


Figura 4.5. Izqda.: Relación de conferenciantes invitados, título y fecha prevista de las conferencias. Dcha.: Comunicación de Alfredo Pérez, como jefe de estudios del curso, confirmando al ingeniero José María Aguirre la fecha de su conferencia. FUENTE: Archivo IETcc.

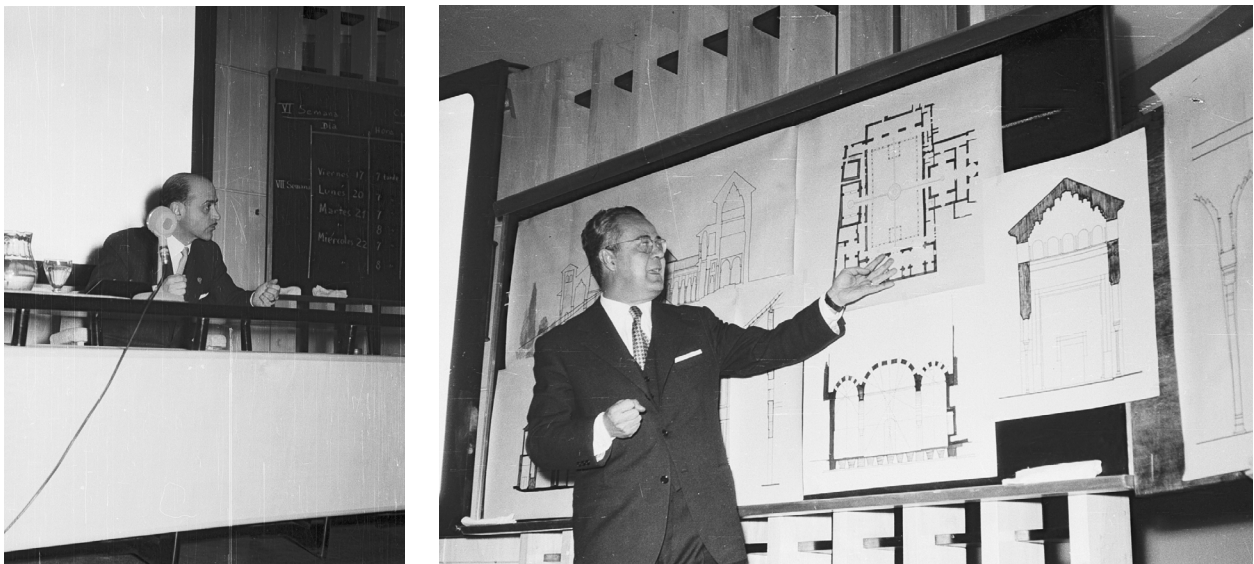


Figura 4.6. Izqda.: El arquitecto Miguel Fisac durante la conferencia *Expresividad estética de las estructuras*. Dcha.: El arquitecto Francisco Prieto-Moreno durante la conferencia *La Alhambra*. Ambas conferencias se celebraron en el salón de actos del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, los días 17 y 28 de febrero de 1956 respectivamente. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 4.7. Vista de la multitudinaria asistencia al salón de actos del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento para escuchar a los conferenciantes. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 4.8. Invitaciones para las conferencias *Bóvedas tabicadas*, impartida por el arquitecto Buenaventura Bassegoda, y *Formas de presas*, por el ingeniero Pedro Martínez Artola. FUENTE: Archivo IETcc.

Tabla 4.1. Calendario de las conferencias impartidas por el profesor Torroja y los técnicos especialistas.

Enero 1956

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
		Inauguración del curso. 18:00 h Introducción. 19:00 h	Bases del problema resistente. A y B. Nociones fundamentales resistentes.	A. Nociones fundamentales resistentes. B. El material. Materiales frangibles.	14	15
A. Materiales frangibles y birresistentes. B. La madera. Laminados. Contrachapados. Materiales metálicos.	A. Acero laminado. B. Hormigón armado.	A. El hormigón pretensado. B. El terreno.	A. Hormigón traslúcido. Aluminio. Elementos constructivos. El soporte de piedra. Madera, hormigón armado. B. El soporte de acero laminado, fundición.	A. El soporte. Conceptos generales. B. El muro. Muros de materiales frangibles. Muros de contención. La prensa triangular.	21	22
A. El soporte roblonado y soldado. La viga. B. Viga metálica compuesta. Piezas metálicas no simétricas. Vigas de gran canto, de alma llena compuestas. Vigas de hormigón armado.	A. Vigas de hormigón pretensado. El pretensado en vigas metálicas. B. Vigas flotantes. Tubos.	A y B. Viga continua. La triangulación.	A. La triangulación B. Vigas. El arco.	A y B. El arco. Fin primera parte del curso.	28	29
Comienzo segunda parte del curso. Estructuras superficiales. A. La bóveda. La membrana. B. La lámina cilíndrica.	A y B. La lámina cilíndrica.					

Tabla 4.1. (Continuación)

Febrero 1956

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
		A. Estructuras abovedadas. B. Cúpulas.	A y B. Estructuras abovedadas.	A y B. Cúpulas.		
Bóvedas tabicadas. Buenaventura Bassegoda. 19:00 h	A. Superficies regladas alabeadas. Superficies planas. B. La losa. La placa.	A. Cubiertas colgadas. Malla tesa. Película sobre maquinaria en la construcción.	La nueva importancia de la estructura. Richard J. Neutra. 20:00 h	Formas de presas. Pedro Martínez Artola. 19:00 h		
A y B. Cubiertas colgadas. Malla tesa.	A. Malla tesa. Contención de tierras. B. Pantallas y presas.	A. Contención en depósitos de agua y de carburante. Depósito de agua enterrado o semienterrado. Depósito de agua elevado. Depósitos carburante gasolina. B. La envoltura del espacio arquitectónico.	A. Bóvedas. Cúpula. Casquete esférico. Cúpula cónica. B. Estructuras plegadas. Viga díptera.	Expresividad estética de las estructuras. Miguel Fisac. 19:00 h		
Láminas y pirámides. Vicente Roglá. 19:00 h	Comprobación y dimensionamiento experimental de estructuras. Carlos Benito. 19:00 h	Continuación. Carlos Benito. 19:00 h	Aspectos económicos de las formas resistentes. José M.ª Aguirre. 19:00 h	A y B. Cubiertas trianguladas. Perfil diente sierra.		
A y B. Puentes.	La Alhambra. Francisco Prieto-Moreno. 19:00 h	A y B. El piso en edificación.				

Tabla 4.1. (Continuación)

Marzo 1956

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
			A. Repaso general curso. B. La claridad estructural. 1	A. La construcción de la estructura. Puentes. Viaductos. B. Acueductos 2	3	4
A y B. Acueductos. Procesos constructivos. 5	Sin datos. 6	Sin datos. 7	Sin datos. 8	Finalización de las conferencias 9	10	11

Clase práctica: 17:00 a 18:45 h.
Conferencia A: 19:00 a 20:00 h.
Conferencia B: 20:15 a 21:00 h.

5. CLASES PRÁCTICAS. LOS PROYECTOS

Las clases prácticas se desarrollaron de manera previa a las conferencias del día, de las 17:00 a las 18:45 h.

El objetivo de estas clases era que los estudiantes desarrollasen a nivel de anteproyecto una forma estructural que resolviera las condiciones del programa de la edificación que se les proponía. En palabras del profesor Torroja, «una forma resistente adecuada para resolver un problema determinado», sin «extremar el análisis de lo funcional y estético» [14] (figuras 5.1 y 5.2).

Los temas propuestos para que los alumnos desarrollasen sus proyectos fueron [14]:

- Estación de embarque para un aeropuerto en una zona de clima muy lluvioso y sobre un terreno llano.
- Iglesia en las afueras de la ciudad con capacidad para 800 personas.
- Chalet emplazado en un terreno abrupto, a orillas del mar Mediterráneo.
- Ermita en la cumbre de una zona de alta montaña.
- Depósitos elevado y enterrado de agua.
- Monumento a la raza situado en el Alto de los Leones cuyo programa recogía museos, salas de conferencias, teatros, etc.
- Palacio de Deportes ubicado en un centro urbano.
- Mercado cubierto.
- Viaducto sobre un embalse.
- Protección de un cruce de teleférico con carretera.
- Estación de servicio y aprovisionamiento.



Figura 5.1. Alumnos y profesores en la clase de prácticas. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 5.2. Estudiantes en la clase de prácticas.
FUENTE: Archivo IETcc.

- Parador de verano en la sierra.
- Campo de fútbol.
- Estación terminal de ferrocarril.

Cada proyecto podía ser elaborado por varios alumnos. Además de desarrollar el proyecto, se realizaba una maqueta de la solución propuesta.

Esta parte del curso también recogía la experimentación y comprobación del comportamiento de materiales, elementos constructivos, así como visitas a centros de investigación y a las más mo-

dernas obras de arquitectura e ingeniería del momento (figura 5.3).

En el documento original se han encontrado cartas de Alfredo Páez solicitando al ingeniero Juan Batanero la posible visita al aeropuerto de Barajas, al ingeniero Carlos Fernández Casado, para poder visitar la nueva estación de trolebuses en la calle General Mola (hoy calle del Príncipe de Vergara) de Madrid, o al arquitecto Modesto López Otero, para ir a la Ciudad Universitaria de Madrid, aunque no consta que todas las propuestas se llegaran a realizar (figura 5.4).



Figura 5.3. Los estudiantes asistiendo a la reparación de una viga de hormigón.
FUENTE: Archivo IETcc.

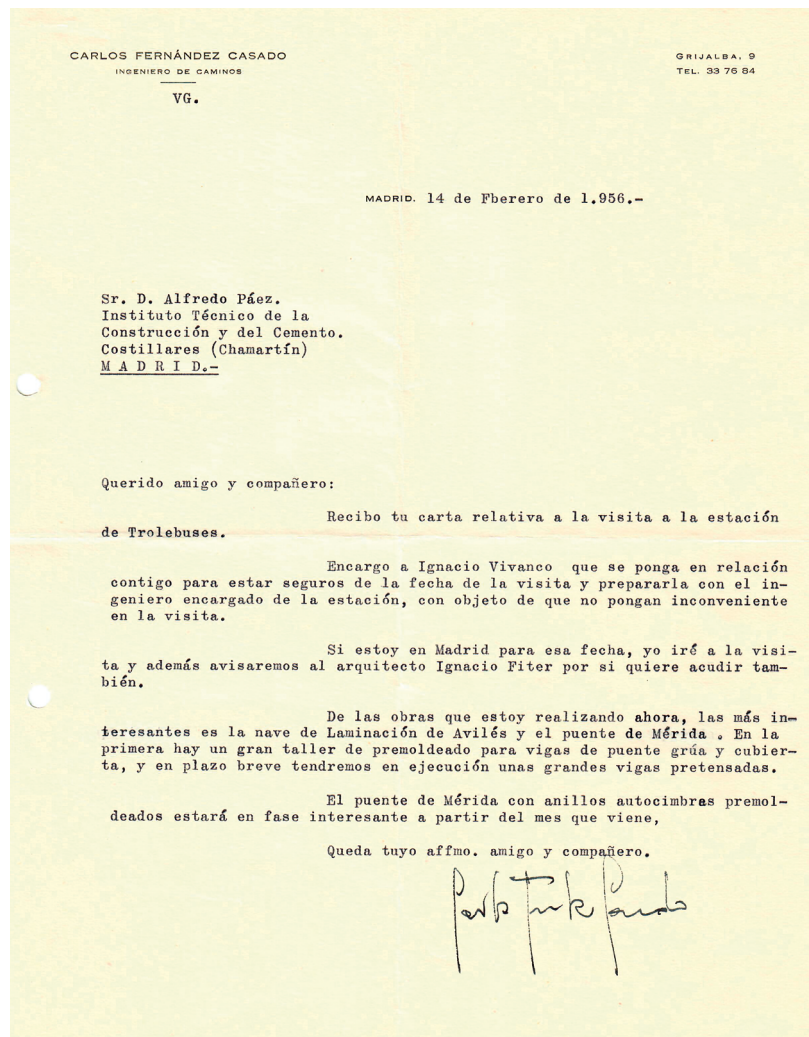


Figura 5.4. Carta del ingeniero Carlos Fernández Casado a Alfredo Páez acordando la visita a la estación de trolebuses en la calle General Mola (actualmente calle Príncipe de Vergara) de Madrid. Fuente: Archivo IETcc.

6. VIAJE DE FIN DE CURSO

En el viaje organizado para fin de curso se tiene constancia de las visitas a varias ciudades de Andalucía, como Granada, el 3 de abril; Córdoba, el 6 de abril; o Sevilla, el 8 de abril; en las que los alumnos estaban acompañados por el profesor Torroja o el profesor Cassinello, y el Sr. Lamana, vocal del Consejo de Obras Públicas (figura 6.1).

En el archivo del IETcc hay fotografías correspondientes al estadio del Fútbol Club Barcelona como construcción visitada durante el curso, pero en el documento no hay referencias ni a la ciudad ni a esta obra (figura 6.2).

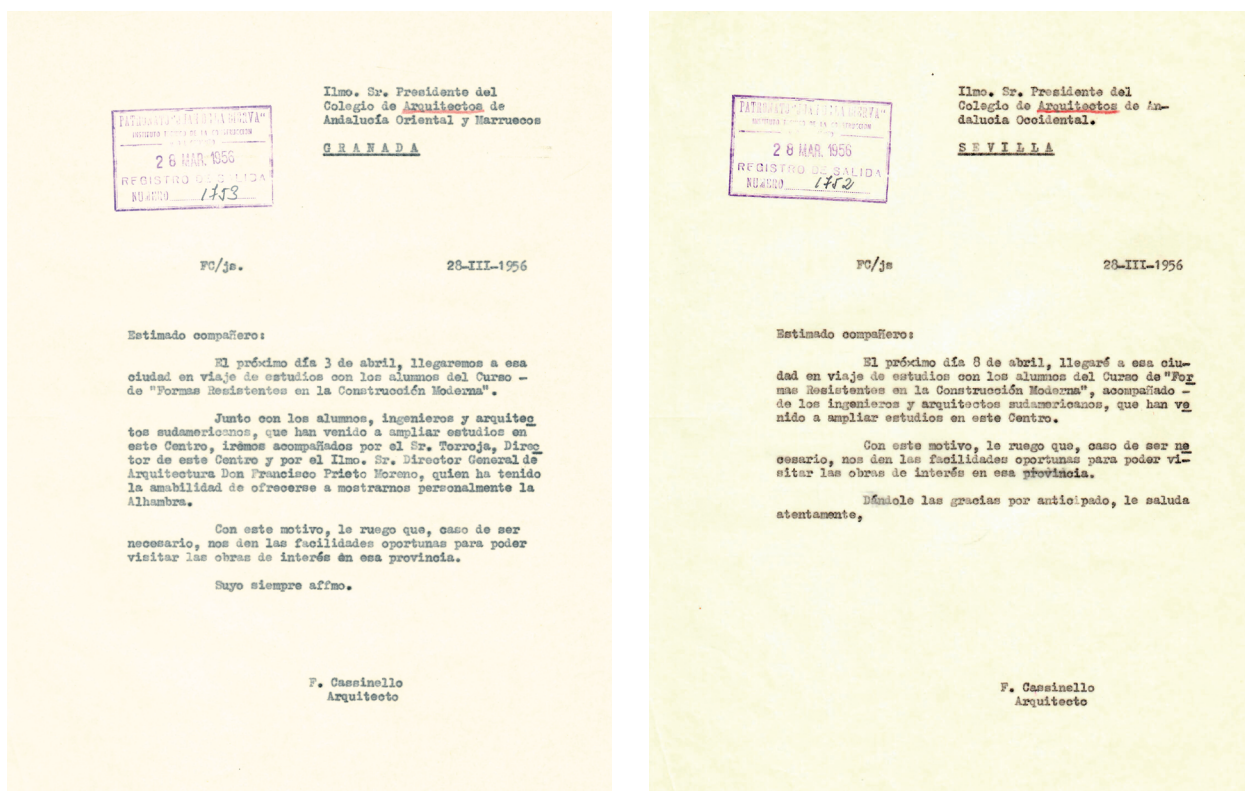


Figura 6.1. Cartas del profesor Cassinello avisando a los presidentes de los Colegios de Arquitectos de Andalucía Oriental y Marruecos (izquierda) y Andalucía Occidental (derecha) de la llegada el 3 de abril a Granada y el 8 de abril a Sevilla de los alumnos y profesores del curso *Formas resistentes en la construcción moderna*, con el fin de facilitar la visita a las obras de interés de estas provincias. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 6.2. Visita del estadio del Fútbol Club Barcelona. FUENTE: Archivo IETcc.

7. EXPOSICIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y ENTREGA DE DIPLOMAS

El curso se clausuró oficialmente el 24 de mayo de 1956 con una exposición de los proyectos realizados por los alumnos (figuras 7.1 a 7.4). En esta exposición, no solo se presentaron las maquetas de los prototipos realizados por los estudiantes, sino que en diferentes paneles se discutían y comentaban las soluciones propuestas.

La *Exposición de proyectos de ingenieros y arquitectos hispanoamericanos* fue un acto institucional con asistencia de personalidades del campo de la ingeniería y la arquitectura del momento. A modo de ejemplo, se han encontrado cartas de invitación de D. Eduardo Torroja a tal evento: a D. José María Aguirre, de AGROMAN; D. Antonio

Cano de Santayana y D. Alfredo Sánchez Bella, del Instituto de Cultura Hispánica; Mariano López Rubio, subsecretario de Obras Públicas; D. Modesto López-Otero Bravo, presidente de la Real Academia de Bellas Artes; D. Francisco Prieto-Moreno Pardo, director general de Arquitectura; D. Miguel Fisac Serna, arquitecto; D. Carlos Benito, ingeniero en el Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción (LCEMC); a los embajadores de Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay, etc. (figura 7.5).

Los alumnos recibieron un diploma acreditativo de haber participado en el curso en un acto institucional (figuras 7.6 y 7.7).

Figura 7.1. El estudiante Fernando Mesa, arquitecto chileno, explicándole a Alfredo Sánchez Bella, director del Instituto de Cultura Hispana, el proyecto y la maqueta de la iglesia de Santiago Apóstol, que había realizado en colaboración con Manuel Ganoza, arquitecto peruano. FUENTE: Archivo IETcc.

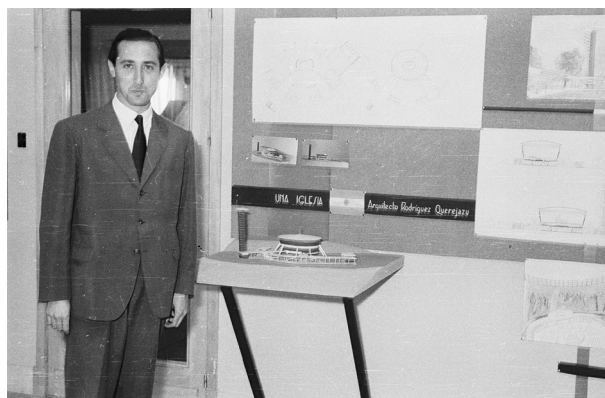
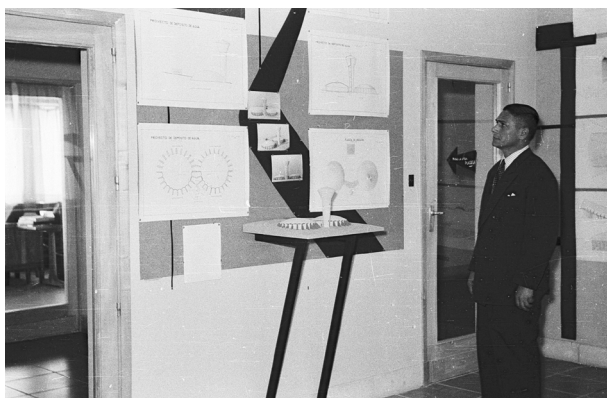


Figura 7.2. Izqda.: El estudiante Víctor Ayala, ingeniero paraguayo, junto a su proyecto y maqueta para Depósitos de agua elevado y enterrado. Dcha.: El estudiante Luis Rodríguez, arquitecto argentino, junto a su proyecto y maqueta para una iglesia. FUENTE: Archivo IETcc.

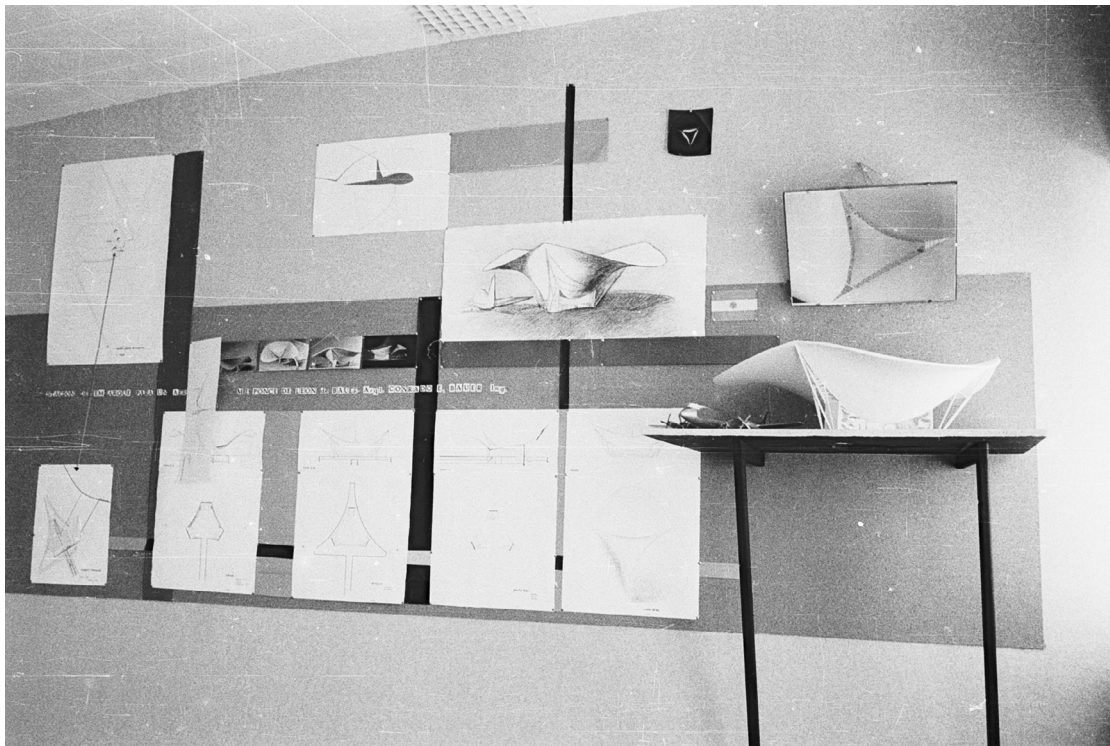


Figura 7.3. Proyecto y maqueta de una estación de embarque para un aeropuerto, de los estudiantes argentinos María Elena Ponce de León, arquitecta, y Conrado Ernesto Bauer, ingeniero. FUENTE: Archivo IETcc.

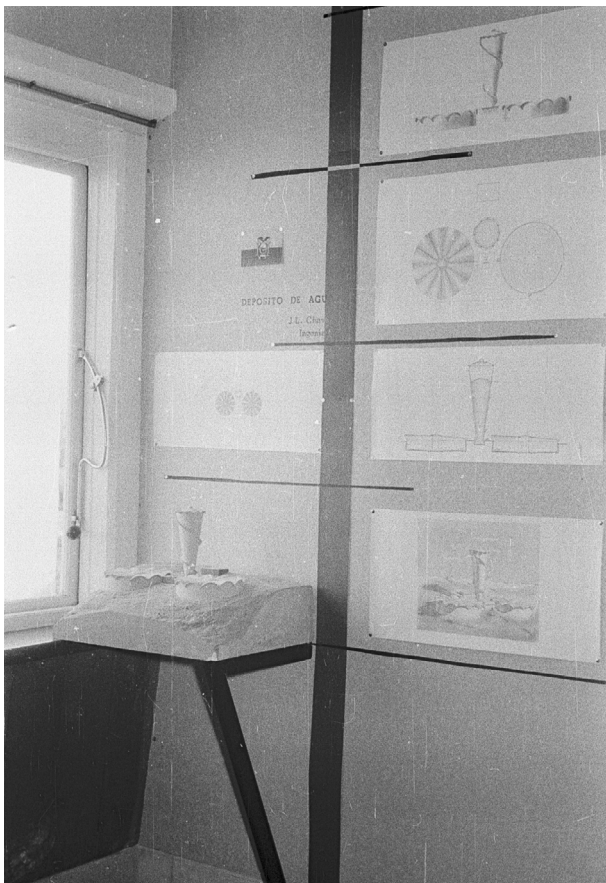


Figura 7.4. Izqda.: Proyecto y maqueta de Depósito de agua, del ingeniero ecuatoriano José Luis Chávez. Dcha.: Proyecto y maqueta de Monumento a la raza, del arquitecto ecuatoriano Gonzalo Guayasamín. FUENTE: Archivo IETcc.

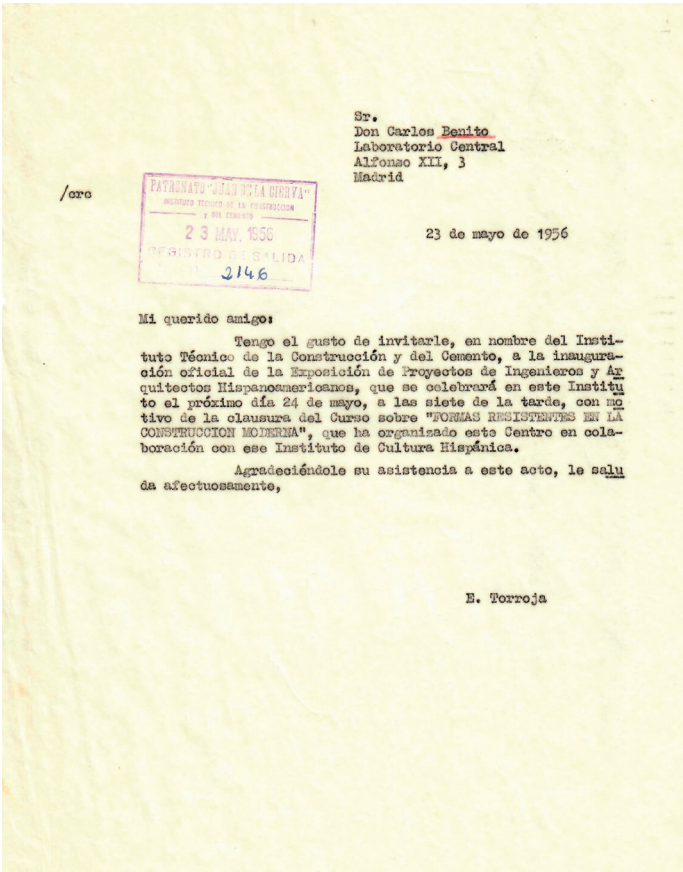


Figura 7.5. Carta invitación a la inauguración de la Exposición de Proyectos de Ingenieros y Arquitectos Hispanoamericanos, que se celebró en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento el 24 de mayo a las 19:00 h, con motivo de la clausura del curso, dirigida al ingeniero Carlos Benito. FUENTE: Archivo IETcc.

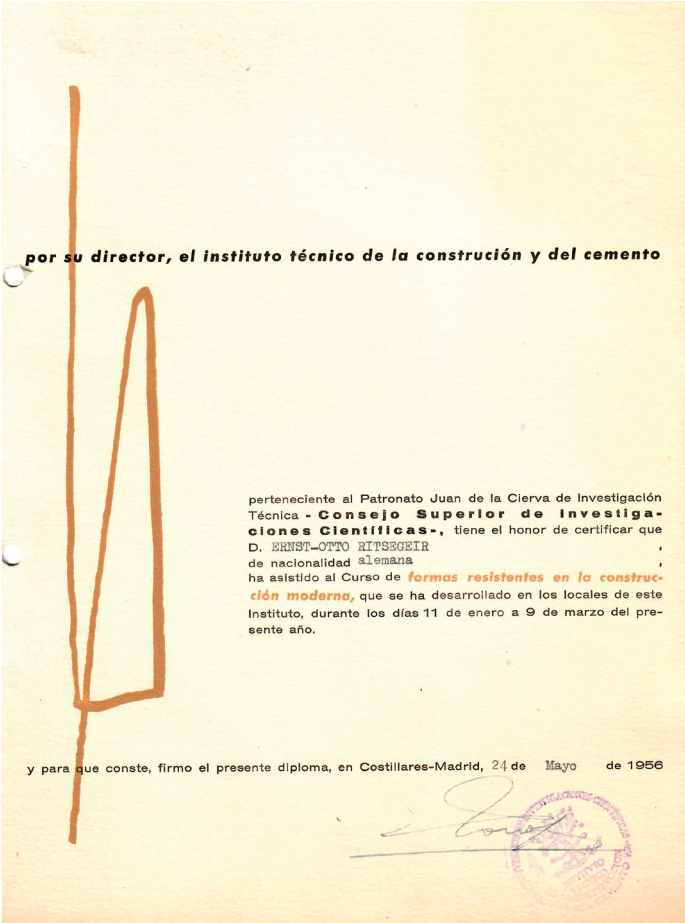


Figura 7.6. Certificado de asistencia al curso. FUENTE: Archivo IETcc.



Figura 7.7. Entrega de certificados de asistencia. Arriba: Federico Turell a la arquitecta argentina María Elena Ponce de León. Abajo: Sin identificar. FUENTE: Archivo IETcc.

8. EL CURSO EN LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Los ingenieros Jaime Nadal, secretario del ITCc, y Alfredo Páez, jefe de estudios del curso, hicieron un gran esfuerzo de divulgación del curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*. Esta labor de divulgación incluía:

- Cartas de invitación que se enviaban por correo a diferentes entidades, colegios profesionales y escuelas del área.
- Resúmenes y notas de las actividades pasadas y futuras en prensa escrita, como las enviadas a D. Luis Calvo, director del diario *ABC*; D. Pedro Gómez Aparicio, director de la agencia CIFRA (figura 8.1); D. Rafael Salazar, director de la agencia LOGOS; D. Francisco Marzal, director de la delegación de *La Vanguardia*; D. Luis Peris-Mencheta, director de la agencia Mencheta; D. José Molina Plata, director del diario *El Alcázar*; D. Aquilino Morcillo, director del diario *Ya*; D. Juan José Peña, director del diario *Informaciones*; D. Manuel Pombo, director del diario *Pueblo*; D. Julio Urrutia y D. Juan Pujol, redactor y director del diario *Madrid*, respectivamente, y a D. Manuel Vázquez de Prada, director del diario *Arriba*.
- Resúmenes enviados a emisoras de radio: a D. Justo Melendo Abad, de Radio Nacional.
- Notas de prensa y resúmenes a revistas especializadas del área con cartas dirigidas a: D. Carlos de Miguel, director de la *Revista de Arquitectura*; D. Patricio Palomar Collado, director de la revista *Cemento y Hormigón*; D. José Sánchez Castillo, director de la revista *Gaceta de la Construcción* (figura 8.2), y D. Joaquín Serrano, secretario del

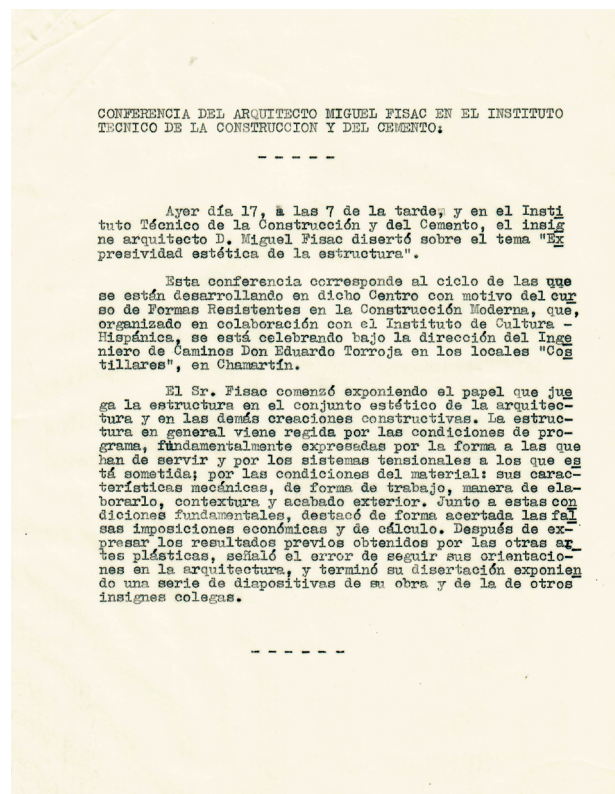
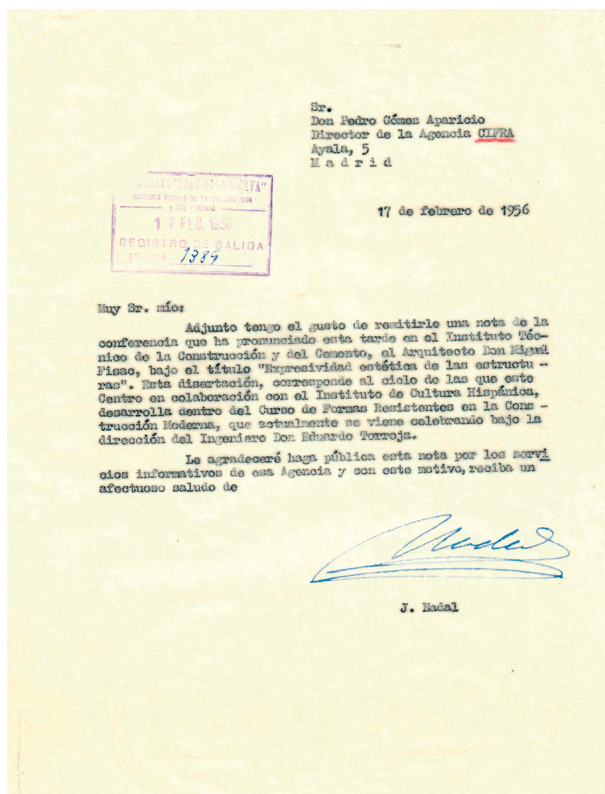


Figura 8.1. Izqda.: Carta. Dcha.: Nota de prensa para el director de la Agencia CIFRA de la conferencia del arquitecto Miguel Fisac el día 17 de febrero de 1956, en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. FUENTE: Archivo IETcc.

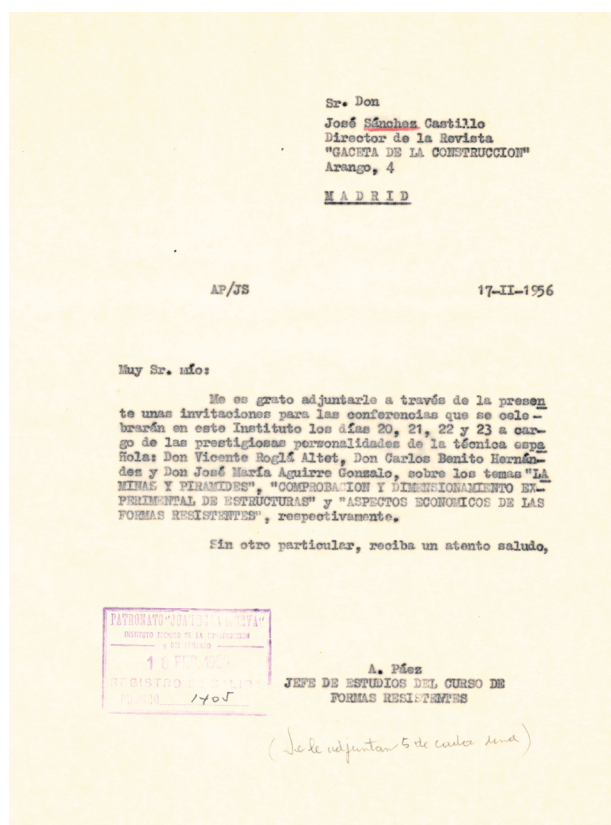


Figura 8.2. Carta de invitación de Alfredo Páez como jefe de estudios del curso a la dirección de la revista *La Gaceta de la Construcción*, para asistir a las conferencias impartidas por los ingenieros Vicente Roglá, Carlos Benito y José María Aguirre los días 20, 21, 22 y 23 de febrero de 1956.
FUENTE: Archivo IETcc.

comité de redacción de la *Revista de Obras Públicas*.

- Entrevistas radiofónicas.

Se han conservado hasta la fecha algunas contestaciones de los medios de comunicación (figura 8.3), así como las notas de prensa de las conferencias invitadas, que dicen textualmente:

Conferencia del arquitecto Mr. Richard J. Neutra, día 9 de febrero a las 8:00 de la tarde, sobre el tema *La nueva importancia de la estructura*:

El arquitecto Mr. Richard J. Neutra destacó el papel predominante que ha adquirido el ingeniero en la técnica moderna, pasó a analizar los problemas humanísticos que ha de resolver el arquitecto desde los puntos de vista ópticos, acústicos, sensoriales, etc. A continuación, proyectó una serie de diapositivas de obras de algunos arquitectos internacionales, como Nervi, Candela, Alvar Alto y otros, exponiendo un acertado juicio crítico de cada una de ellas. Como final proyectó una serie de fotografías

tomadas a algunas de sus obras, destacando en ellas el aspecto estructural y su influencia en la estética del conjunto.

Al final de su disertación Mr. Neutra fué calurosamente aplaudido por la numerosa asistencia al acto.

Conferencia del ingeniero D. Pedro Martínez Artola, día 10 de febrero a las 7:00 de la tarde, sobre el tema *Formas de presas*:

El Sr. Martínez Artola expuso de manera brillante los diferentes tipos de presas construídas tanto en España como en el extranjero, valorizando, con acertados comentarios, las ventajas e inconvenientes de cada solución.

Conferencia del arquitecto D. Miguel Fisac Serna, día 17 de febrero a las 7:00 de la tarde, sobre el tema *Expresividad estética de las estructuras* (figura 8.2):

[...] El Sr. Fisac comenzó exponiendo el papel que juega la estructura en el conjunto estético de la arquitectura y en las demás creaciones constructivas. La estructura en general viene regida por las condiciones de programa, fundamentalmente expresadas por la forma a las que han de servir y por los sistemas tensionales a los que está sometida; por las condiciones del material: sus características mecánicas, de forma de trabajo, manera de elaborarlo, contextura y acabado exterior. Junto a estas condiciones fundamentales, destacó de forma acertada las falsas imposiciones económicas y de cálculo. Después de expresar los resultados previos obtenidos por las otras artes plásticas, señaló el error de seguir sus orientaciones en la arquitectura, y terminó su disertación exponiendo una serie de diapositivas de su obra y de la de otros insignes colegas.

Conferencia del ingeniero de caminos Vicente Roglá Altet, día 20 febrero a las 7:00 de la tarde, sobre el tema *Láminas y pirámides*:

El Sr. Roglá en su disertación, habló de las particularidades más interesantes, tanto de las cubiertas en forma de hongo solitario o múltiple, como de las posibilidades prácticas de los paraboloídes de revolución, para terminar con la proyección de una película que, comentada por él, muestra las ventajas de la construcción de cimbras mediante elementos metálicos piramidales.

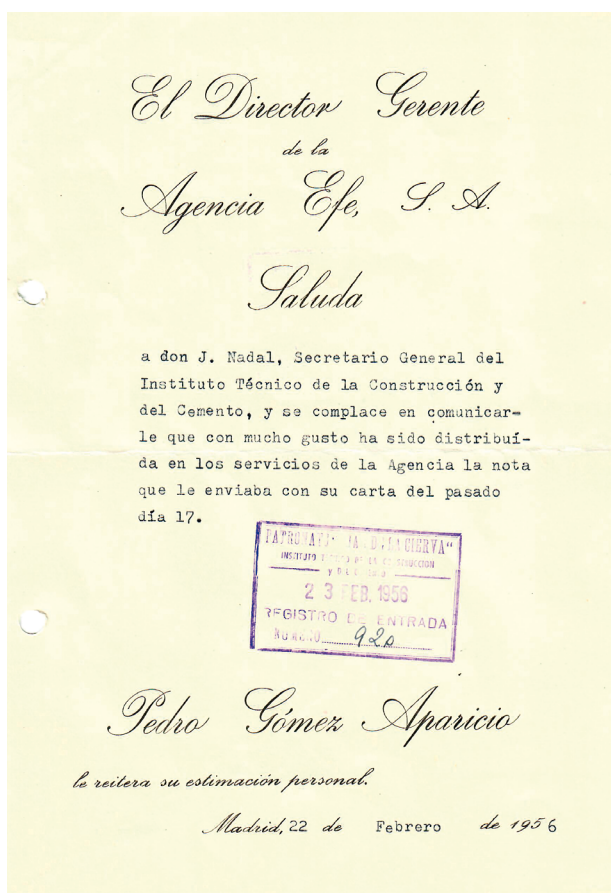


Figura 8.3. Contestación del director gerente de la Agencia EFE al secretario general del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento para indicar que la nota enviada ha sido publicada. FUENTE: Archivo IETcc.

Conferencia del ingeniero de caminos D. Carlos Benito Hernández los días 21 y 22 de febrero, a las 7 de la tarde, sobre el tema *Comprobación y dimensionamiento experimental de estructuras*:

El Sr. Benito dividió sus conferencias en las siguientes partes: arcos, pórticos, placas, cubiertas laminares, presas cúpula y fotoelasticidad. La metódica y clara exposición de los diferentes problemas y elegancia de su solución, llevó al ánimo del auditorio la convicción del inestimable servicio que esta interesante técnica puede rendir en el proyecto de estructuras poco o nada accesibles a un cálculo analítico.

Conferencia del ingeniero de caminos D. José María Aguirre Gonzalo el 23 de febrero con el título *Aspectos económicos de las formas resistentes*:

En resumen: la técnica es muy importante, pero no es más que un medio y no un fin. Con ella se persigue obtener una utilidad, o sea un servicio, en la

forma más económica posible. Un Ingeniero se diferencia de uno peor, o de otro que no lo es, en que consigue hacer con 100 pesetas la labor para la que otros necesitan invertir 150 ó 200 pesetas.

La técnica no es tan imprescindible como parece, pero con ella se ha llegado a un conocimiento muchísimo más exacto del comportamiento elástico de las formas resistentes y este conocimiento permite hacer economías, como consecuencia de lograrse formas más arriesgadas con menor coeficiente de seguridad.

La técnica, por otra parte, ofrece procedimientos rígidos con los que se pueden tantear económicamente nuevas soluciones y elegir la más eficiente dentro de las posibles.

En las piezas elementales se debe buscar el mejor «opus», o sea lograr el máximo mejoramiento de la relación entre la sollicitación que soporta un elemento resistente en ciertas condiciones de trabajo y la que podría resistir si en todos sus puntos trabajase el material a la máxima tensión admisible, o sea que el «opus» se aproxime en todo lo posible a la unidad.

Pero no debe ofuscar a los técnicos esta idea porque unas veces deben proyectarse y emplearse elementos de «opus» inferior a otros, porque resultan más económicos en la realidad.

Una vez logrados los elementos más convenientes deben de agruparse en los conjuntos en forma diversa hasta que se encuentre la solución más económica, debiendo insistirse mucho en las grandes ventajas económicas que proporciona el llevar el estudio comparativo a límites muy amplios.

Fruto de estas ideas son los procedimientos austriacos CENO y MACULAI. Son notabilísimas, y alcanzaran renombre mundial, las estructuras formadas con pirámides del Profesor español Roglá.

Aparte las consideraciones anteriores, el trazado puramente técnico puede conducir a formas excesivamente complicadas y que tengan dificultades tales de realización que no le hagan económicamente aceptable. Como si las formas se ejecutan en taller puede admitirse prácticamente cualquiera, se tiende a la prefabricación en taller, que tiene muchísimas ventajas y que está muy logrado en tipos de materiales metálicos, y aún de madera, pero no cuando se trata de elementos en los que interviene el cemento en su fabricación.

Es posible que cuando los fabricantes de plásticos abandonen la idea actual de vender poco y caro y decidan producir mucho y barato, existan avances notables en la prefabricación de esta clase

de material. También se puede lograr la ejecución de formas difíciles económicamente con el procedimiento ingenioso como, por ejemplo, el encofrado deslizante.

La técnica debe seguir por este camino y por otros persiguiendo el mejoramiento continuo y los constructores deseando poner en obra los materiales en las mejores condiciones posibles. Esto constituye el verdadero progreso porque así aportará a la humanidad su contribución a la búsqueda eficiente del bien común para ir aproximándonos cada vez más al ideal que nos ha sido señalado de un mundo mejor.

Conferencia de D. Francisco Prieto-Moreno, director general de Arquitectura, el día 28 de febrero a las 7:00 de la tarde, con el tema *La Alhambra*:

El Sr. Prieto comenzó exponiendo el proceso de creación y formas arquitectónicas de la Alhambra y su utilización en relación con la construcción moderna. Expuso cómo sin el empleo del módulo de los estilos clásicos, el árabe, con su fina sensibilidad y espíritu de observación, creó una arquitectura lo más adecuada a su modo de vivir utilizando materiales pobres, pero con un sentido que hoy día considera paralelo al de la creación de las actuales formas arquitectónicas con los materiales de la industria actual.

La conferencia estuvo amenizada con la proyección de diapositivas de la Alhambra, así como con la ilustración de gráficos sobre sus elementos constructivos más característicos.

Con respecto al medio radiofónico, tiene especial interés el guion empleado en la entrevista de Radio Nacional al profesor Eduardo Torroja con motivo de la inauguración del curso. Nótese el uso de palabras actualmente en desuso y ciertas irregularidades lingüísticas que se han conservado por no alterar la transcripción original.

LOCUTOR.—Hoy miércoles, dará comienzo en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, el Curso de «Formas Resistentes en la construcción moderna» que organiza dicho Centro en colaboración con el Instituto de Cultura Hispánica, y al que asistirá un grupo de técnicos Hispano-Americanos ingenieros y arquitectos en su mayoría. Para que nos informe sobre dicho Curso hemos solicitado del Director del mismo Don Eduardo Torroja Miret, Profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Di-

rector del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. La relevante personalidad del Sr. Torroja, nos evita de toda presentación y por eso le preguntamos.

¿Qué finalidad persigue el Curso organizado por el Instituto de la Construcción y del Cemento que Vd. dirige, sobre «Formas Resistentes en la Construcción moderna»?

SR. TORROJA.—Corresponder a la indicación del Sr. Sánchez-Bella Director del Instituto de Cultura Hispánica, quien deseaba que en la técnica de la construcción se hiciese, análogamente a como viene realizándose en Medicina y en otras materias, un esfuerzo para facilitar a los técnicos de naciones hermanas, una colaboración y un eficaz intercambio de ideas, a la par que una conexión directa entre los técnicos de los diferentes países que por razones geográficas se han encontrado hasta hace poco demasiado dejados de nosotros.

LOCUTOR.—¿Qué frutos cabe esperar de esta colaboración entre un Centro de investigación y el Instituto de Cultura Hispánica?

SR. TORROJA.—Establecer un contacto entre las técnicas del otro lado del Atlántico con la técnica española, facilitar con este cambio de ideas las perspectivas y las posibilidades de las formas resistentes que permiten hoy días las técnicas más modernas; un mayor conocimiento y respeto mutuo entre los técnicos de los diferentes países que forman el conjunto hispanoamericano; y quizá abrir con ello un campo de trabajo y de colaboración, para que todos los países pueda beneficiarse con la aportación de sus diferentes especialistas.

LOCUTOR.—Al Curso organizado, ¿asisten solamente técnicos suramericanos o los hay también de otras nacionalidades?

SR. TORROJA.—No sólo han venido suramericanos, sino también de otros países, tanto de América del Norte como de la Europa Central; su número en realidad supera al que se había fijado para lograr un buen aprovechamiento de las clases prácticas.

LOCUTOR.—¿Qué significación hay que atribuir a esta asistencia de ingenieros y arquitectos suramericanos a un Centro de investigación español?

SR. TORROJA.—Pues puedo decirle, por ejemplo, que recientemente en Zürich me indicaron que ha-

bían notado últimamente una baja en la matrícula de estudiantes de habla española, que efectivamente coincide con un incremento de ella en nuestras escuelas.

Evidentemente indica que nuestras actividades van siendo conocidas y apreciadas en el extranjero.

LOCUTOR.—*¿Podría indicarnos otros aspectos de las proyecciones hacia el exterior del Instituto Técnico de la construcción y del Cemento y de su flujo dentro de nuestras fronteras?*

SR. TORROJA.—*Los técnicos del Instituto de la Construcción colaboran en diferentes Organizaciones internacionales relacionadas con la investigación de la construcción, y están en contacto personal y directo con otros especialistas extranjeros en comisiones de trabajo y reuniones, de las que poco a poco van saliendo orientaciones para la industria de la Construcción. En este sentido, la actividad que va siendo de cada*

vez mayor, nos permite estar al tanto no sólo de lo que se efectúa en el extranjero, en el campo de la investigación, sino también de las orientaciones para un futuro próximo.

LOCUTOR.—*Han escuchado ustedes unas declaraciones del ilustre Ingeniero de Caminos, Don Eduardo Torroja Miret que dirigirá el curso sobre «Formas resistentes» organizados por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento y el de Cultura Hispánica, para ingenieros y Arquitectos suramericanos.*

Como se puede ver, todas estas cartas, invitaciones, notas de prensa, etc., constituyen todo un despliegue de *marketing*, realmente novedoso y adelantado a su tiempo, especialmente si consideramos que se refieren a temas científico-técnicos. Y por supuesto, sin olvidar las facilidades de transporte que ofrecían a los posibles interesados en asistir a las diferentes conferencias.

9. LAS CONFERENCIAS DEL CURSO Y EL LIBRO RAZÓN Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES

9.1. Antecedentes

En 1936, se edita el libro *Obras de hormigón armado* de Eduardo Torroja [13]. Es un libro que recoge sus principales construcciones, y en donde, además de explicarlas, expone su pensamiento, que no es otro que aliar ingeniería y arquitectura, sin importar que en el diseño del edificio se manifieste visualmente su estructura. Lamentablemente, el libro no puede ser distribuido porque se inicia la Guerra Civil Española.

En junio de 1952, Eduardo Torroja comienza una gira de conferencias por Colombia, Perú, Chile y Argentina para dar a conocer su obra. En esta gira le acompaña Alfredo Sánchez Bella, director del Instituto de Cultura Hispánica. La razón del viaje, además de estrechar lazos técnico-científicos con estos países, es utilizar la diplomacia cultural para abrir España a Iberoamérica.

En julio de ese año, Eduardo Torroja se encuentra en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de Buenos Aires por invitación del ingeniero estructuralista Giulio Pizzetti. Aquí impartirá un ciclo de conferencias bajo el título de *El tipo estructural y las razones que le definen en hormigón armado* [15]. Los temas tratados comprendieron: El planteamiento del proyecto. El material. Los elementos lineales. Los elementos superficiales. La contención y el cerramiento. El piso y el puente. La ejecución de la obra. Lo estético. El funcionalismo estructural y la génesis del proyecto¹ [15].

Un año más tarde, en 1953, el profesor Torroja inicia una nueva asignatura en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, que denomina *Hormigón armado y Tipología Estructural*,² dirigida a alumnos de 4.º curso.

A partir de estas experiencias previas, en 1955 comienza la materialización de su idea de organizar un curso de larga duración para posgraduados en ingeniería y arquitectura dedicado a la filosofía de las estructuras, que denominará curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*.

El curso, como ya se ha indicado en otros apartados, estaba dividido en varias partes, siendo una de ellas las conferencias impartidas por el profesor Torroja, que eran trasladadas a papel diariamente.

Revisadas estas conferencias, y con la información que tenemos hasta la fecha, se pueden considerar el precedente directo del libro *Razón y ser de los tipos estructurales* [17] y, consiguientemente, de *Philosophy of structures*.

El curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*, al que va dirigido esta monografía, se inaugura el 11 de enero de 1956 con una serie de conferencias cuya relación de temas tratados se conocen porque, al finalizar el curso, Eduardo Torroja los da a conocer a través de la publicación *Formas resistentes de la construcción moderna*,³ una monografía del ITCc-CSIC [14]. La publicación explica brevemente en qué ha consistido el curso, enfocándose en mostrar varios proyectos realizados por los estudiantes.

Tanto el curso impartido en la FAU (1952) como el del ITCc (1956) mantienen la misma línea argumental, aunque la del ITCc será la definitiva para publicar un libro sobre la lógica que ha de llevar al proyectista a escoger el tipo estructural más apropiado, editado bajo el título de *Razón y ser de los tipos estructurales* o *Philosophy of structures* en su versión inglesa.

9.2. Influencia del curso *Formas resistentes en la construcción moderna* en el libro *Razón y ser de los tipos estructurales*

Cuando se estudia la documentación de las conferencias del curso (figuras 9.1 a 9.3) y los capítulos del libro se encuentra un paralelismo entre los te-

1. Temas que posteriormente desarrollará ampliamente en el curso de *Formas resistentes en la construcción moderna*.

2. Eduardo Torroja termina sus estudios de Ingeniero de Caminos en 1923. Su actividad docente la inicia con un curso de hormigón armado en la Escuela de Arquitectura de Madrid en 1928. En 1939 comienza en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, donde impartió docencia en diferentes asignaturas hasta su fallecimiento en 1961: cálculo de estructuras (1939-1957), hormigón armado (1939-1959), teoría de elasticidad (1940-1958), elasticidad y resistencia de materiales (1948-1957), hormigón

armado y tipología estructural (1953-?), hormigón pretensado y tipología estructural (1957-1959) [16].

3. Obsérvese que el título de esta publicación es «[...] de la construcción moderna» y no «[...] en la construcción moderna».

mas (tabla 9.1), tanto en la estructuración de cada uno de ellos como en las referencias externas a personajes de dentro y fuera de la ingeniería, a los ejemplos de obras elegidas para ilustrar el discurso o a situaciones profesionales concretas.

Se debe tener en cuenta que en una conferencia es la entonación del orador —en este caso del profesor Torroja— la que permite el proceso de comunicación efectiva con sus oyentes, perdiéndose cuando se realiza la traslación directa al documento escrito. Cuando se lee el libro, los textos están elaborados para contribuir a transmitir el mensaje de forma eficaz, eliminando las vacilaciones lingüísticas vinculadas a la palabra hablada, los errores léxicos, pero sigue manteniendo su contexto, el carácter didáctico o la exposición tan abierta de su pensamiento para un lector anónimo.

Para mostrar los paralelismos existentes, se han comparado los documentos de las conferencias, disponibles en el sitio web del IETcc, y la primera edición del libro, año 1957 [17]. Como ejemplos de alusiones a figuras del ámbito de la arquitectura o de la pintura, podemos encontrar la del arquitecto Frank Lloyd Wright, que abre la conferencia donde se comienza a explicar *El material* (conferencia B del viernes 13 de enero), página 63 del documento:

Como dice Wright: «Cada material tiene su propio lenguaje y nos envía su propio mensaje»; cada material dice algo nuevo, tiene una personalidad propia y para proyectar bien con un material determinado es necesario conocer muy bien ese comportamiento para que el conjunto estructural esté amoldado a sus costumbres y a sus propiedades, a su modo de ser. Dicho en un lenguaje un poco más elegante «la eurística estructural requiere el conocimiento de la etopeya del material».

En el libro, el capítulo III, dedicado a *Los materiales clásicos*, página 31:

«Para el artista creador, cada material expresa su propio mensaje», dice F. Lloyd Wright; y para comprender ese mensaje es necesario meditar sobre las propiedades de cada uno de ellos hasta empaparse en su peculiar modo de ser y de expresarse; porque efectivamente, cada cual presenta su etopeya diferente y específica.

En la *Conferencia inaugural*, se referencia a los pintores Diego Velázquez y Francisco de Goya, y se hace alusión a *Gog*, el libro de Giovanni Papini, publicado en 1931:

Y este arte tiene su técnica como todos los artes, evidentemente harán falta unas condiciones – personales, algunos que las tengan mejores «graznarán» sobre los otros, pero no es sólo arte ni imaginación; la imaginación sola no serviría más que para construir figuras de humo en el aire como aquellas de «BOJ» o de «PAPINI», cuyo encanto estaba precisamente en que no duraba más que unos segundos. Aquí se trata de lo contrario, aquí hay que ponerla sobre los pies en tierra y que se esté quieta. Y que salga económica y que salga todo esto que he dicho. Y todo esto tiene su técnica lo cual no quita para que sea un arte, porque el arte de la pintura o de la música también tiene su técnica. Velázquez y Goya tenían su técnica y perfeccionaron la técnica existente para llenar la necesidad física que creaban. Pues aquí nos pasa igual, – aquí necesitamos una técnica y esa técnica no sólo desde el – punto de vista de comprobación sino desde el punto de vista de creación, que es lo que quisiera hablar por lo menos en la última parte del curso.

En el capítulo XVII del libro, correspondiente a *La expresión estética*, páginas 301 y 320:

Unas veces, esta estructura estará a la vista o constituirá la obra misma y necesitará ser estética; otras veces, quedará oculta. Pero, aun en este último caso, rara vez el valor estético de la obra aparente dejará de estar influenciado por las formas resistentes de la estructura interior, [...]

Por eso, se requiere tanto el sentimiento artístico como la preparación técnica, si no se quiere que los productos de la imaginación queden en el aire, como aquellas estatuas del Gog, de Papini, que el artista tallaba en humo y cuyo mejor encanto nacía de la brevedad inconsistente de su existencia.

[...] todo arte requiere una técnica. Los aciertos artísticos de Velázquez o de Goya sólo fueron posibles gracias a su profundo conocimiento de la técnica pictórica de su tiempo y a los avances que en ella introdujeron con la suya propia. Y en el tema que aquí se trata, la técnica es principalmente la estático-resistente; que, tantos adefesios se hacen por carecer el técnico de educación y de sentido estéticos, cuantos disparates nacen de la imaginación del artista carente de preparación y comprensión técnicas.

En la conferencia dedicada a *El muro* (conferencia B del viernes 20 de enero):

El muro macizo, único del que voy a hablar hoy, tiene tres funciones posibles: la de cerrar, la de soportar cargas encima y la de contener unos empujes de tierras, de agua, de presas, etc. El muro empezó siendo un muro de piedra, el muro ciclópeo de defensa de las ciudades ibéricas, por ejemplo, contra la que se estrellaron los romanos durante algunos años y que acabaron por pasar, por lo general sin derrivar el muro, sino entrando por las puertas.

En el capítulo VI del libro, correspondiente a *El soporte y el muro*, página 91:

El muro no es tampoco un elemento moderno precisamente; pues hay que pensar que, detenidos frente a la barrera infranqueable de los bloques ciclópeos de sus murallas, empezaron los pueblos a hacer la historia sin saberlo; y, más de una vez, utilizaron sus paños para ensayar sus escrituras y grabar en ellos el pregón más duradero de sus glorias. De sus tres funciones principales, que son cerrar, soportar y contener, las tres vienen de la más remota antigüedad.

En la conferencia dedicada al pandeo en la viga (conferencia B del lunes 23 de enero):

Supongo que en plan de broma el Sr. Benito ha demostrado que, en una viga sobre tres apoyos, si el central baja, la curvatura de la deformada disminuye, de modo que el momento flector en el arranque baja y por consiguiente una viga de ferrocarril hecha sobre un soporte calculado justo para que pandee bajo el peso del tren resulta más económica. Pero lo que me interesa es esto: existe una resistencia, pero cuando paso la resistencia ya se me ha ido y es porque estoy apretando y no tengo tiempo de parar, pero si se hace el experimento con mucho cuidado, se puede dar a cada flecha una carga de equilibrio; lo que ocurre, es que basta unos gramos de diferencia para que aquello se deforme enormemente, es decir, que se podría considerar la carga del soporte pandeado con una carga activa no reactiva, es decir, independiente de la flecha que le demos, tácitamente casi independiente que le demos.

En el capítulo II del libro *El fenómeno tensional* se incorporan las imágenes 9.1 dcha. y 9.2 dcha., elaboradas a partir de los esquemas presentes en los textos mecanografiados del curso (figura 9.1 izqda.) o de los dibujos originales realizados por Eduardo Torroja (figura 9.2 dcha.).

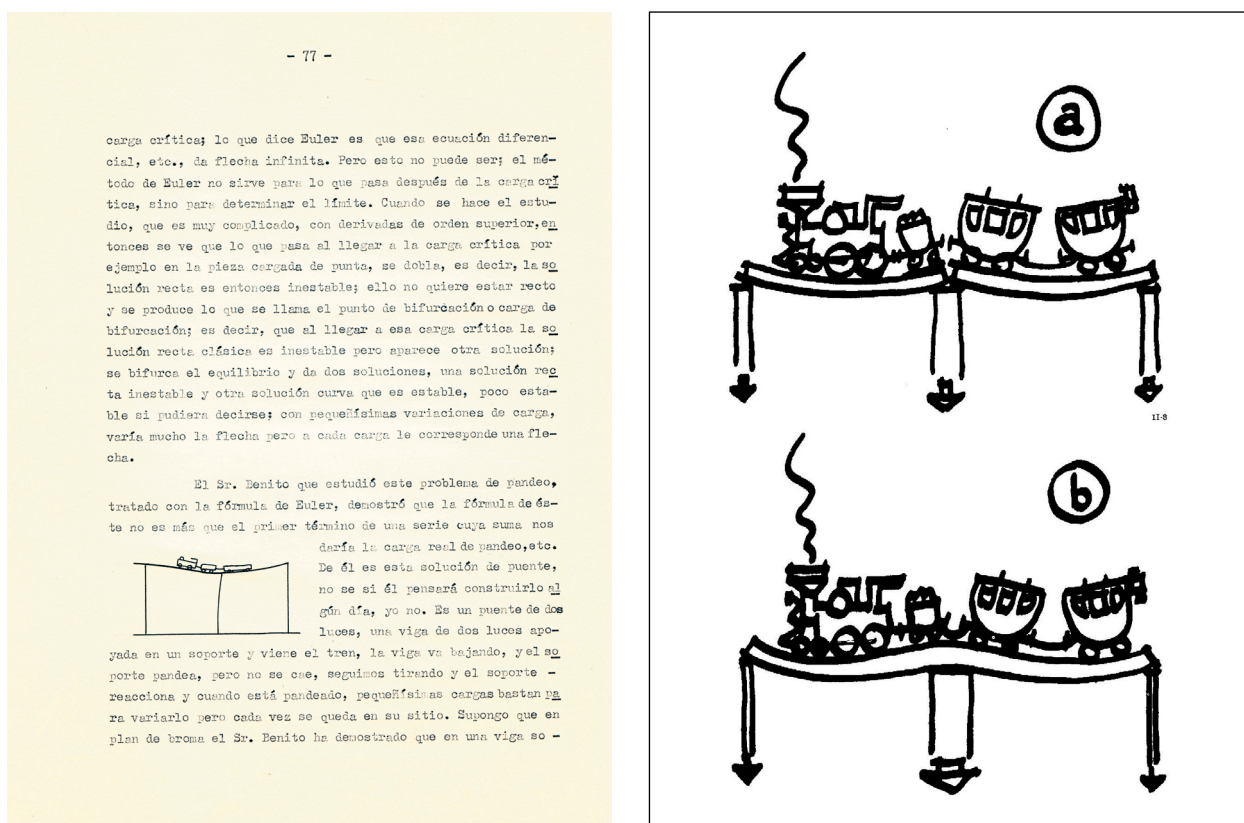


Figura 9.1. Izqda.: Página del documento correspondiente a la segunda conferencia del 23 de enero. FUENTE: Archivo IETcc.
Dcha.: Figura del libro, página 29: II-8. Determinación de vigas isostática e hiperestática. FUENTE: Torroja, 1957 [17].

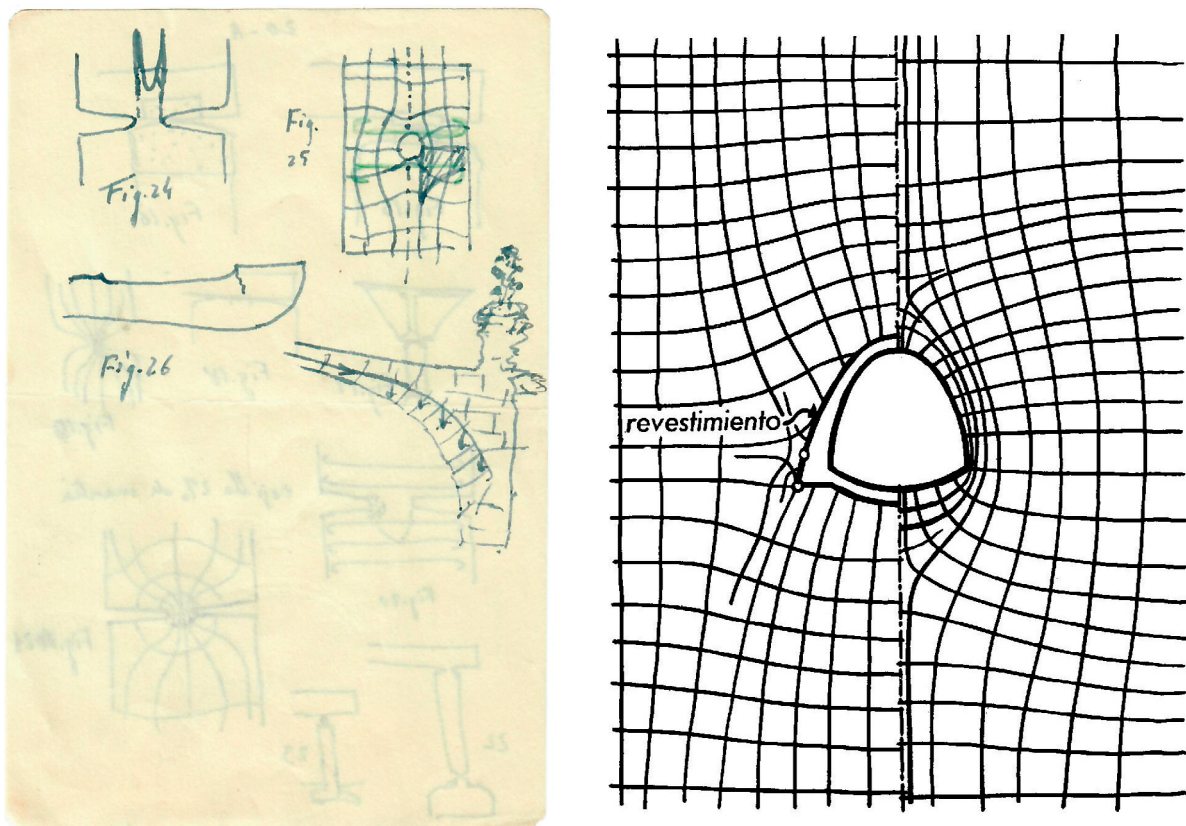


Figura 9.2. Izqda.: Dibujos realizados por Eduardo Torroja que eran aportados al delineante para su incorporación en los textos mecanografiados. FUENTE: Archivo IETcc. Dcha.: Figura del libro, página 24, II-6. Red de isostáticas en un túnel con y sin revestimiento, donde se observa el paralelismo entre ambas figuras. FUENTE: Torroja, 1957 [17].

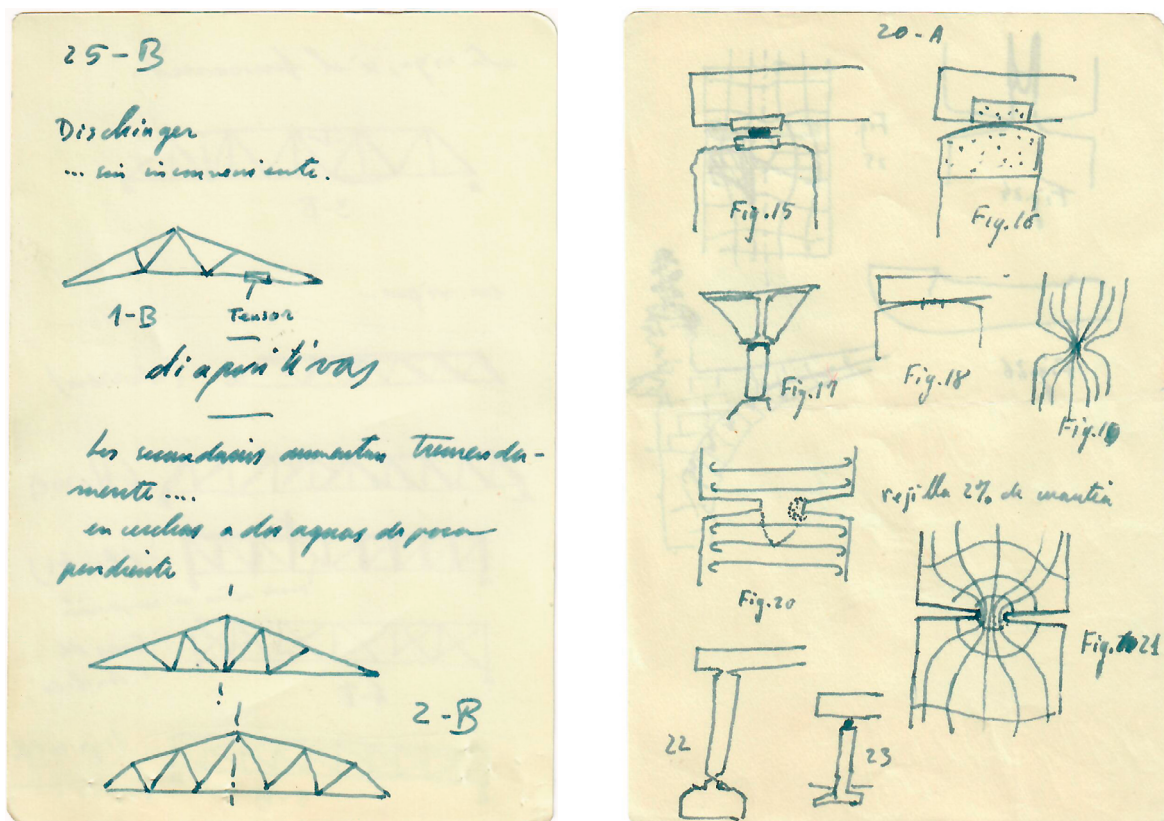


Figura 9.3. Dibujos realizados por Eduardo Torroja para su incorporación en los textos mecanografiados del curso.

Tabla 9.1. Comparativa entre los temas de las conferencias impartidas en el curso y los capítulos del libro *Razón y ser de los tipos estructurales*.

Conferencias del curso Fechas y temas		Razón y ser de los tipos estructurales Índice, capítulos y materias
11 enero Introducción.		Capítulo I Planteamiento general del problema.
12 y 13 enero Bases del problema resistente.	13 enero El material. Piedra. Ladrillo.	Capítulo II El fenómeno tensional.
16 enero Ladrillo. Ladrillo armado. Adobe y tapial. El hormigón.		Capítulo III Los materiales clásicos.
16 enero Madera. Materiales metálicos.	17 enero Acero laminado.	Capítulo IV Madera y acero.
17 enero Hormigón armado.	18 y 30 enero Hormigón pretensado.	Capítulo V El hormigón armado y el pretensado.
19 enero Elementos constructivos. El soporte. La columna de piedra. El soporte de madera. La columna de hormigón armado. Soporte metálico. Acero laminado. Columna de fundición.	20 enero Conceptos generales del soporte. El muro macizo. Muros de materiales frangibles. Muros de contención. La presa triangular.	Capítulo VI El soporte y el muro.
26 y 27 enero El arco. El arco exento.		Capítulo VII El arco.
30 y 31 enero. 1 y 2 febrero La bóveda. La membrana. La lámina cilíndrica. Estructuras abovedadas. Cúpulas, casquetes.	3 febrero Cúpulas.	Capítulo VIII La bóveda y la cúpula.
23 enero Roblonado y soldado en el soporte. La viga. La viga metálica compuesta. Vigas de hormigón armado.	24 enero Vigas de hormigón pretensado. Pretensado en vigas metálicas. Vigas flotantes. Tubos.	Capítulo IX La viga de alma llena y la placa.
25 y 26 enero La triangulación.		Capítulo X Triangulaciones y mallas.
14 febrero Contención de tierras. Pantallas. Presas.	15 febrero Contención en depósitos de agua y de carburante. Depósito de agua enterrado o semienterrado. Depósito de agua elevado. Depósitos carburante gasolina.	Capítulo XI La contención.
8 y 13 febrero Cubiertas colgadas o extensibles. Malla tesa.	15 febrero La envoltura del espacio arquitectónico. La cubierta.	Capítulo XII La cubierta y el cerramiento.
	24 febrero Cubiertas trianguladas. Dientes de sierra.	

Tabla 9.1. (continuación)

Conferencias del curso Fechas y temas			Razón y ser de los tipos estructurales Índice, capítulos y materias
7 febrero Superficies planas. La losa. La placa.	29 febrero El piso en edificación.		Capítulo XIII El piso y el edificio.
27 febrero Puentes.	2 marzo Viaductos.	2 y 5 marzo Acueductos.	Capítulo XIV Puentes y acueductos.
1 marzo Cómo trabaja una estructura.			Capítulo XV Funcionalismo estático-resistente.
2 marzo La construcción de la estructura.	2 y 5 marzo Procesos constructivos.		Capítulo XVI Procesos de ejecución.
Sin datos.			Capítulo XVII La expresión estética.
Sin datos.			Capítulo XVIII Línea y superficie.
Sin datos.			Capítulo XIX La génesis del esquema estructural.
Sin datos.			Capítulo XX El cálculo.
Sin datos.			Capítulo XXI El proyectista y la organización.

Por ejemplo: una viga isostática de dos tramos iguales (fig. II. 8a), uniformemente cargados, el soporte central sufre una carga doble que los laterales; pero, si resulta hiperestática por efecto de su continuidad, esta solución, que equilibra las fuerzas actuantes, ya no es compatible con la deformación previsible de la viga. Para mantener la continuidad de la directriz (fig. II. 8b) es necesario que aparezcan unos momentos negativos sobre el apoyo central, los cuales, al suponerse aplicados a cada tramo de la viga isostática, aumentan necesariamente la carga en ese apoyo, aliviando de la suya los laterales.

Como se observa en la tabla 9.1, se diferencian varias partes, tanto en las conferencias como en el libro. La primera parte está enfocada a establecer las bases generales del problema resistente. La segunda, a analizar el material. La tercera se dedica a los elementos y sistemas constructivos. La cuarta

parte estudia los procesos de ejecución. Hay una quinta parte de reflexiones, perfectamente diferenciada en el libro, en que no existe correspondencia con las conferencias, bien porque aún no hemos encontrado los textos, o porque se dejaron de transcribir las conferencias.

Aunque la versión inglesa de *Razón y ser de los tipos estructurales* se concibe simultáneamente a la lengua española (figura 9.4), es en el año 1958 cuando se publica *Philosophy of structures* (figura 9.5). El encargado de su traducción es Jaroslav Joseph Polivka⁴ en colaboración con su hijo Milos y la participación de Eduardo Torroja.

De esta manera, si las conferencias sirvieron para transmitir a estudiantes y oyentes la visión que tenía Eduardo Torroja del concepto de estructura, el libro se manifiesta como el medio para materializar de manera ordenada y sintetizada lo dado en el curso (figura 9.6).



Figura 9.4. Cubierta de la segunda edición de *Razón y ser de los tipos estructurales*. 1960. Edición: Instituto de la Construcción y del Cemento (CSIC). Diseño de portada: Bernard Pettit. Tema de portada: cubierta laminar del Hipódromo de la Zarzuela de Madrid. FUENTE: Archivo IETcc.

4. J. J. Polivka (1886-1960) fue un ingeniero estructural. En 1946 comienza a colaborar con Frank Lloyd Wright hasta la muerte de este en 1959. Juntos construyeron Johnson Wax Research Tower (1946-1951), el Museo Guggenheim (1946-1959).

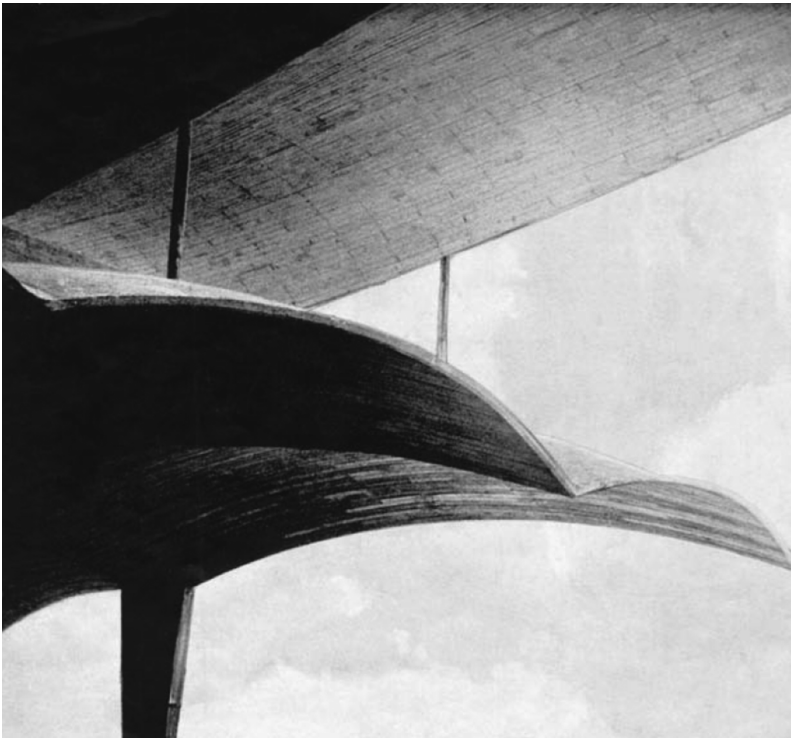


Figura 9.5. Fotografía de Sibylle von Kaskel que Eduardo Torroja incorpora en el capítulo XXI del libro de *Razón y ser de los tipos estructurales* «El proyectista y la organización». Incluye el siguiente pie de foto: XXI-1. Cubiertas laminares de 5 cm de espesor, en el Hipódromo de Madrid. Fotografía: S. von Kaskel. Esta fotografía fue imagen de cubierta del libro *Philosophy of structures*, publicado en 1958 por Berkeley University of California Press, con traducción de Jaroslav Joseph Polivka y Milos Polivka. FUENTE FIGURA: Torroja, 1957 [17 p. 388].

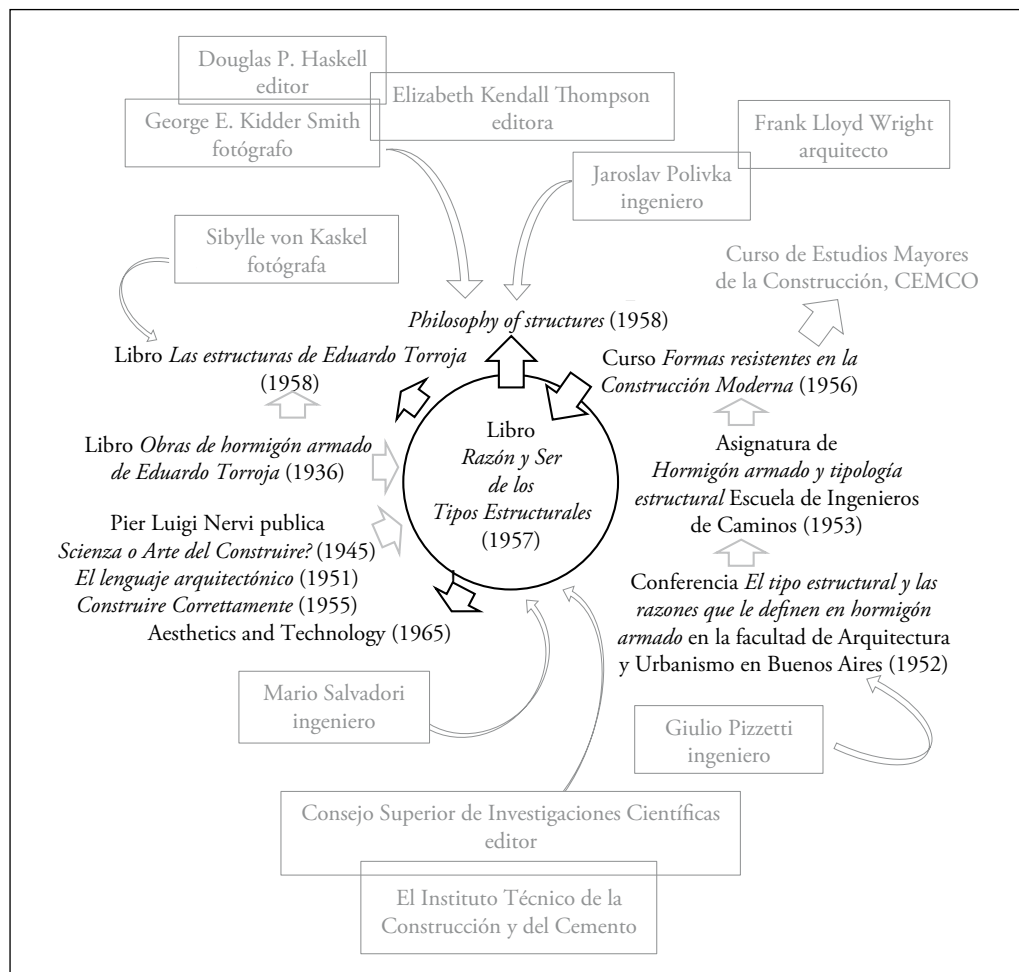


Figura 9.6. Gráfico donde se muestran las influencias recibidas por Eduardo Torroja para escribir y editar el libro de *Razón y ser de los tipos estructurales*. FUENTE: elaboración propia.

10. EL CURSO *FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA*, EL ORIGEN DE LOS CURSOS CEMCO

El hecho de que los estudiantes que accedieron al curso *Formas resistentes en la construcción moderna* fueran ya ingenieros y arquitectos hizo innecesario volverles a explicar el cálculo de las estructuras o complicados teoremas, pues esta etapa de aprendizaje ya la habían superado con los estudios realizados en sus diferentes escuelas. Lo que se pretendía con el curso era despertar el espíritu crítico del técnico para que, cuando se les plantease resolver un problema estructural, eligieran la mejor solución posible. De esta manera, este curso sentó las bases de cómo podía estructurarse un curso de posgrado. Con la perspectiva actual, este curso nos puede parecer común, como los que actualmente se imparten en universidades o centros especializados, y esto nos debería hacer reflexionar sobre como, a pesar ser un curso de hace casi 70 años, en la actualidad se sigue manteniendo un esquema similar de enseñanza.

Cuando el profesor Eduardo Torroja junto con el ITCc desarrollan el curso a mediados de los años cincuenta, lo hacen inspirándose en cursos avanzados para posgraduados existentes en países como Alemania o Estados Unidos. El objetivo que se perseguía no solo era evitar que los profesionales nacionales tuvieran que trasladarse a estos países para completar sus conocimientos, sino que lo que se pretendía era que el ITCc se convirtiera en un referente internacional donde los profesionales de cualquier parte del mundo pudieran asistir para tener una enseñanza puntera y de calidad.

De este innovador curso, surge el *Curso de estudios mayores de la construcción*, más conocido por su acrónimo CEMCO, que se sigue impartiendo en el IETcc, aunque no con una cadencia fija de tiempo.

La denominación de CEMCO se ha mantenido durante los años, distinguiéndose entre sí en que el acrónimo va acompañado del año en que se imparte el curso, mediante sus dos últimos dígitos o con el número completo al pasar de siglo. Para dar continuidad a todos los cursos, al de *Formas resistentes en la construcción moderna* se le conoce como CEMCO 0.

El 14 de octubre de 1963, en el salón de actos del Instituto Eduardo Torroja, se inaugura el *Primer curso de estudios mayores de la construcción*, CEMCO 63, conservando el mismo esquema de clases diseñado por el profesor Torroja, pero ya sin él, pues falleció el 15 de junio de 1961.

El ingeniero Jaime Nadal, colaborador del CEMCO 0, y como director del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (IETcc) en el año 1963, fue el encargado de impartir el curso inaugural y dar la bienvenida a estudiantes, autoridades y demás asistentes.

La línea marcada por CEMCO 0, como ya se ha indicado anteriormente, se mantuvo. Se celebraron cada dos años, con una duración aproximada de cinco meses, enfocándose a estudiantes preferentemente hispanoamericanos, posgraduados en ingeniería y arquitectura, para seguir potenciando la unión entre Hispanoamérica y España y entre ambas profesiones. El salón de actos del Instituto se siguió manteniendo como el aula donde impartir las conferencias. Pero a diferencia del CEMCO 0, los distintos temas del curso son impartidos por diferentes profesionales, manteniéndose las conferencias de especialistas internacionales.

El IETcc siguió contribuyendo, tanto a nivel administrativo como material, dejando sus naves y laboratorios para que los estudiantes desarrollasen sus proyectos, realizasen ensayos para llevar a la práctica la teoría o para investigar en campos poco conocidos. Además, utilizando la gran biblioteca existente en el Instituto, cada alumno tenía que investigar bibliografía sobre un tema en concreto, realizar un amplio estudio crítico y pronunciar una conferencia [18].

Se mantuvieron las visitas a obras, a las que seguía una sesión de crítica conjunta y un viaje de fin de estudios por España. También se siguió conservando la colaboración con diferentes administraciones nacionales e internacionales, y entidades públicas y privadas para el desarrollo del curso.

REFERENCIAS

- [1] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja [Internet]. Madrid: IETcc; 2024 [consultado 6 de agosto de 2024]. Disponible en <https://www.ietcc.csic.es/cursos-y-masters/cemco/>.
- [2] Equipo editorial. Conmemoración del Cincuenta Aniversario del Instituto de la Construcción y del Cemento Eduardo Torroja. Inf. Constr. 1984; 36 (365): 5-22.
- [3] Arredondo, F.; Benito, C.; Echegaray, G.; Nadal, J.; Páez, A.; Del Pozo, F. *La obra de Eduardo Torroja*, 1.^a ed. Madrid: Instituto de España; 1977.
- [4] Oteiza, I.; Alonso, C.; Frutos, B.; Martín-Consuegra, F. *El Instituto Eduardo Torroja. Un edificio innovador en la España de postguerra*. Madrid, 1951-1953. III Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción. Madrid: Instituto Juan de Herrera; 2019 [consultado 28 de agosto de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/210974>.
- [5] Azorín, V.; Cassinello, P.; Monjo, J. (eds.). *Archivo Eduardo Torroja de la investigación en construcción y de su innovador hábitat (ITCc)*, 1.^a ed. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Consejo Superior de Investigaciones Científicas; 2012.
- [6] Cassinello, P. Eduardo Torroja, Richard Neutra y Fernando Cassinello. Colaboraciones y sueños compartidos. Inf. Constr. 2024; 76 (574): 6898.
- [7] Nadal, J. El Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Inf. Constr. [Internet]. 30 de agosto de 1999 [consultado 6 de agosto de 2024]; 51(462): 9-18. Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/856>.
- [8] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Ciencia y tecnología en un edificio con forma de π [Internet]. Madrid: IETcc; 4 de marzo de 2019 [consultado 6 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.ietcc.csic.es/noticias/pi-day-ciencia-y-tecnologia-en-un-edificio-con-forma-de-pi/>.
- [9] Eymar, J. M. Prefabricación. Inf. Constr. [Internet]. 30 de agosto de 1999 [consultado el 6 de agosto de 2024]; 51(462): 43-62. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.858>.
- [10] González Duplat, A. M. Interiores del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja [TFG]. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM; 2023.
- [11] Kandinsky, W. Cursos de la Bauhaus. Madrid: Alianza Editorial; 1998.
- [12] Billington, D. P. *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering*, 1.^a ed. Nueva York: Basic Books; 1983.
- [13] Torroja, E. *Las estructuras de Eduardo Torroja*, 1.^a ed. Madrid: Ministerio de Fomento; 1999.
- [14] Torroja E. *Formas resistentes en la construcción moderna*. Coursillo celebrado en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Bajo la dirección de D. Eduardo Torroja y en colaboración con el Instituto de Cultura Hispánica, para arquitectos e ingenieros hispanoamericanos. Madrid: ITCc, Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica; 1956. Monografías del ITCc, n.º 180.
- [15] Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Polivka-Torroja [Internet]. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas; 29 de mayo de 2023 [consultado 29 agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WzIG1od1XXc>.
- [16] Antuña Bernardo, J. *Las estructuras de edificación de Eduardo Torroja Miret* [tesis doctoral]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM; 2003. Disponible en: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1348>.
- [17] Torroja, E. *Razón y ser de los tipos estructurales*, 1.^a ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento; 1957.
- [18] Gómez, F.; Díaz-Romeral, P.; Díaz-Romeral, J.; Fernández, J.; Alamán Frutos, J. M.; López, A. Adaptación de nave-almacén existente en el IETcc, como edificio destinado a la realización de cursos y seminarios. Inf. Constr. [Internet]. 30 de mayo de 1981 [consultado 7 de octubre de 2024]; 33(330): 31-37. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.1981.v33.i330.2240>.

ANEXO 1. CONFERENCIA INAUGURAL DEL CURSO FORMAS RESISTENTES EN LA CONSTRUCCIÓN MODERNA

A continuación, se muestra la transcripción literal de la conferencia inaugural del curso *Formas resistentes en la construcción moderna*, impartida por D. Eduardo Torroja Miret el miércoles 11 de enero de 1956. A juicio de las autoras, parte de la importancia de esta conferencia estriba en que podría considerarse el prólogo, que nunca tuvo, del libro *Razón y ser de los tipos estructurales*.

Ilustrísimos Sres.; Sras. y Sres.; son mis primeras palabras de salutación a los ingenieros y arquitectos extranjeros del otro lado de los mares, que han querido atravesar el océano para llegar a este suelo antiguo, suelo patrio, suyo, haciendo ese esfuerzo que nos satisface y nos honra, por cuanto a su presente reconocimiento a nuestra modesta técnica. Es para mí una satisfacción y un honor recibirles, por cuanto a nosotros los españoles todos los que dialogan el habla española, por estar tan alejados, están más unidos a nuestro corazón. Se hace esencial naturalmente este saludo a los técnicos de otros países que también han venido salvando las dificultades de la lengua y, por último, a los caros amigos españoles y madrileños y, en especial, un saludo de respeto y agradecimiento al Sr. Subsecretario que ha querido inaugurar este Curso, al Director General de Arquitectura y al Director del Instituto de Cultura Hispánica, a cuyas iniciativas se debe el que nos encontremos aquí reunidos. Cumplido este deber, que al mismo tiempo era un deseo para mí, voy a empezar exponiendo el propósito del Curso.

Creo, por el público asistente, que aquí hay un error. Probablemente venís pensando que vais a escuchar teorías nuevas, grandes ideas, innovaciones, etc., en realidad, no es nada de eso; sin faltalles al debido respeto, podría decir, buscando un símil, que estas charlas van a ser una especie de ejercicios espirituales, a los que vamos no a que nos digan nada nuevo; no es que vayamos a aprender verdades que sabemos ya de chicos; es que las olvidamos, y vamos para que nos lo repitan; para a meditar sobre ellas y, sobre todo, para tratar de asimilarlas de hacerlas una segunda naturaleza nuestra que nos conduzca a lo largo de la vida.

En la vida profesional creo que de cuando en cuando también nos convendría repasar no todos aquellos cálculos aquellos detalles de la escuela que nos ren el proceso preliminar de un proyecto que regido es gran parte sus conscientemente por consiguiente repito no debe haber en ningún desarrollo matemático ni demostraciones que requieran un simbolismo todo eso se estudia en la escuela y las demostraciones más o menos se encuentran en los libros precisamente al margen de lo que quiero hablar porque en realidad el cálculo como todos saben no hacemos que comprobar si lo que hemos hecho está bien o está mal decir si va a sostener es decir qué coeficiente de seguridad tenemos.

Pero todo esto no lo dice el cálculo más que respecto a la forma resistente Sé que le planteamos tenemos pues que idear primero esa forma incluso imaginarla

Por lo tanto, no voy a hablar de cálculo en todo el Curso. Sólo expondré algunas fórmulas empíricas que, por serlo, no necesitan ninguna demostración. Todo será muy sencillito, ya que la única razón de ser de este Curso será, precisamente, su sencillez, para facilitar un tanto el problema, pero nunca para desarrollar un Curso.

Una vez leyendo una de esas cosas raras que me divierten, a Confucio, me llamó la atención esta frase: «tan peligroso es querer pensar sin aprender, como aprender sin pensar». Se me quedó grabada, porque efectivamente es peligroso. Yo veo muchas veces en mis alumnos, el aprender sin pensar, llegando a conocer las cosas sin el fondo de la cuestión, sin asimilarla. Pero realmente, tan peligroso es, según dice Confucio —y él sabrá por qué lo dice—, el ponerse a pensar sin haber aprendido. Yo no he encontrado ningún libro donde aprender lo que voy a decir. Por ello esto supone una valentía por mi parte.

Mis charlas serán, pues, un resumen de meditaciones en ratos aburridos; un resumen de una experiencia profesional demasiada larga para mí, porque se adquieren con los años; un conjunto de razonamientos, y de «perogrulladas». Yo diré muchas «perogrulladas» sobre todo en la primera parte del Curso. Estoy convencido que el caso tiene

poco interés y que ya lo sabéis todos. Ya lo he advertido hace unos momentos, pero es que también la experiencia de la vida me enseña que es mucho más grave olvidarse de una «perogrullada» en un momento de la vida profesional, que el repetirla de una a cien veces al día. Y por desgracia se olvidan, o al menos actúa como si no se conocieran y no se pensara. No critico con esto la labor de los demás, sino que sigo el consejo de mi experiencia propia. Yo también me he olvidado muchas veces de una cosa de sentido común y por ello quiero hacer este recordatorio.

Hay que discutir y buscar las razones de ciertas causas, y pensar si son ciertos los fenómenos resistentes, para que cuando llegue el momento creador esas asimilaciones e intuiciones nos permitan obtener soluciones que el cálculo venga a asegurar, pero cuya solución sea satisfactoria e independientemente del cálculo. En fin, hace falta, creo yo, para llegar a la creación y la imaginación de un nuevo tipo estructural, el sentirlo, asimilar el fenómeno resistente muy adentro, para no tener cosas que discurrir sobre ellas. Buscando la palabra..., los alemanes como en tantas otras cosas la tienen perfecta. Es un «Einführung», el «Einführung» del fenómeno tntensionalo resistente; lo que en lengua sajona con etimología latina llaman la empatía, es decir, esos sentimientos instintivos de que aquéllo debe ser así.

Nosotros tenemos una razón de experiencia. Sabemos que si soltamos una cosa, se cae; si la apretamos demasiado, se dobra o se rompe. Hará falta que esa misma facilidad de concepto, esa misma seguridad intuitiva imponente se cree en una porción de fenómenos de tal forma que se refleje subconscientemente, se intuya inmediatamente, si aquello va a sostenerse o no, si va a estar cómodo o no, si va a estar forzado, si va a trabajar. Solamente cuando se tiene esta asimilación interna es cuando entraremos en el proceso selectivo de nuestra inteligencia. Las soluciones serán fácilmente comparadas con otras cuando se trate de crear formas nuevas o soluciones nuevas. No hay nada nuevo bajo el sol, pero como aplicación a cada caso particular, cuando se trata de crear para un problema concreto una forma que no se adapta a otra conocida, indudablemente influye la imaginación y el poder imaginativo que tenga cada cual. Pero esa imaginación viene conducida como de la mano, cuando se conoce y se siente íntimamente los fenómenos resistentes.

Para empezar, tenemos que hablar de lo que debe ser, de lo que quiere ser, de lo que ha de ser,

una estructura, una construcción. Pero me voy a referir exclusivamente, siempre, a la parte resistente. Quiero llamar la atención sobre algo que parece olvidarse y es que las construcciones sirven para algo. Pueden hacerse para divertimento pero, en fin, es un divertimento demasiado caro. Siempre se hace para alguna finalidad, directamente utilitaria o totalmente utilitaria, pero, en fin, una finalidad primaria. Se hace una casa para vivir en ella; se hace un puente para pasar el tránsito. Es decir, hay una razón primaria que no es la resistente, la resistente viene después de aquélla. Hace falta que se sostenga el puente para que pueda pasar el tráfico; lo que se busca es que pueda pasar el tráfico. No voy a hablar de la parte funcional, pues si no me metería en un tema demasiado vasto, y yo no estoy preparado. Voy solamente a comentar en poquísimos minutos esta razón primaria porque es la fundamental, pero no me voy a ocupar de ella después.

Parece muy fácil saber cuál era la razón primaria de una construcción: ¡hombre, claro!, un puente sirve para que pase el tráfico. Pero, en fin, hay que detallar un poco más; hace falta que soporte una cierta carga, que tenga un cierto ancho, etc., un piso horizontal o con ligera pendiente, un 3 o un 5%, pero hasta un límite en que ya empezaría a ser un poco incómodo..., etc. Los puentes de la Edad Media, Como el medio de transporte era diferente, permitían una pendiente muy fuerte que ayudaba a soportar las cargas; pero, hoy día, ya no admitimos esas pendientes, aunque podemos admitir algunas. También sabemos que una casa necesita que tenga una superficie de iluminación, en función de la planta, y cuanto mayor sea mejor iluminada, pero al mismo tiempo es más fría en invierno y tendrá más calor en verano. Nos encontramos ya con dos causas que hay que ponderar, hay que buscar un término medio. En fin, lo que quiero es llamar la atención es que hay unas razones impositivas y obligatorias, pero dentro de lo imprescriptible existen una serie de variables que son imposibles de fijar pues no son positivas sino de simple conveniencia, y que más o menos limitadas en general no suelen estar ni suelen ser expresables numéricamente y hay que ponderar.

Sobre la ponderación, mi experiencia me dicta que, en general, a la gente le molesta ponderar y prefiere recurrir a una formulita que le resuelva el problema, para no tener que discurrir y se encuentra mucho más satisfecho. Pero en cuanto hay que aceptar la responsabilidad de un razonamiento, de un enjuiciamiento, que puede ser perfectamente

criticable procura huir de semejante responsabilidad, lo cual no sólo es un error por nuestra parte sino hasta podemos decir que es una inmoralidad. Hay veces que si las variables son reducibles a una misma unidad entonces el problema suele ser relativamente fácil; vamos a hacer una presa que puede ser más alta o más baja; cuanto más alta; será más cara, pero producirá más kilovatios, entonces las dos causas son representables en pesetas. Se puede hacer un cálculo económico y determinar cuál es la conveniente. Se puede saber si al aumentar la superficie de iluminación de una vivienda el aislamiento sube o baja, pero ¿como se valora en pesetas el confort interior debido a ella? Entonces se encuentra uno en posición difícil, pero no hay más remedio que afrontar esta posición difícil tratando de resolverla con el mejor criterio propio. Antes de ponerse a proyectar, o a lo que salga, hay que pensar que después puede haber crítica, o puede haber otro señor que propone que aquello es un disparate. Tampoco podrá demostrarse ni hacerse la determinación absoluta del error sino, simplemente, una cuestión de apreciación.

El estudio de todas esas condiciones debe expresarse en una cuartilla antes de empezar a pensar cuál será la forma o el tipo de la construcción que vamos a hacer. Y, respecto a esta razón primordial o funcional, nada más.

El tema de este Curso lo constituye la segunda condición que tendrá que cumplir lo que hagamos, es decir, que sea resistente. En primer lugar, la resistencia es palabra que no me gusta, porque no sólo es resistencia, hay otras cosas que debe cumplir: hace falta que sea estática, que se esté quieta. Al hablar de resistencia quiero decir: que no se rompa, que no se caiga y que no se deforme excesivamente, además de otra serie de cosas que van incluidas en eso. No he encontrado una palabra, puede ser el estatismo, estaticidad. Pero repito que es necesario que el técnico se dé cuenta que ésta no es la finalidad primaria pero sí es una condición esencial, entre otras razones, porque si no se sostiene no es construcción; podrá ser otra cosa, puede ser un montón de escombros, o podrá ser, pues no sé, por ejemplo, un barco que ande por el agua, pero, en fin, yo me refiero a construcciones que se estén quietas sobre un terreno. De esta cuestión de la resistencia, del estatismo de la estructura, se tendrá que hablar mucho, porque si tratamos de hacer formas resistentes, ya que se ha dado ese nombre al Curso, tendrá que ser esta la razón fundamental. Hoy es el tema que hay que desarrollar, pero hago esta advertencia precisamente para indicar que no

pretendo estudiarla sólo desde el punto de vista resistente, porque veo que esto es un error muy corriente de los ingenieros con relación a los problemas funcionales que tenga cada caso y con otra porción de condiciones.

El mantenimiento estático de la estructura tiene que ser a lo largo del tiempo, por consiguiente exige también una durabilidad que, en general, va relacionada con el material, pero que también puede influir en el tipo estructural. Pero lo malo de esto es que además ha de cumplir otras condiciones. Una es la de ser económica en lo posible. Y ya entremos un poco en la heterogeneidad de variables: ¿lo más económico posible? ¿Eso qué quiere decir? En realidad no quiere decir nada, pero es un procedimiento de salir del paso, porque la economía se mide en pesetas, pero la durabilidad ¿podrá medirse en pesetas?... lo veo bastante difícil. La comodidad, la eficacia, es muy difícil traducirla en pesetas. Sobre la economía no hablaré pues, como tal economía, aunque sí hable de su influencia sobre todo proceso constructivo, pero no sólo en cuanto a su relación directa sino en relación con la producción de esa obra, o sea, con los beneficios que va a producir y aparte ya, en relación con la resistencia, la prima de seguros correspondiente al riesgo de accidente, que depende del coeficiente de seguridad, etc., etc. Es decir: hay que estudiar la economía de la obra con un criterio más amplio que del simple presupuesto y, de este modo, es como tiene mucha más influencia sobre el tipo estructural.

La duración es una cosa difícil de fijar en general. En Europa y sobre todo en España, se tiene todavía el criterio de que las obras duren como la de los romanos; no hay por qué. Es decir, volvemos al problema funcional primario ¿para qué hacemos el puente? Para qué pasa el tránsito, ¿cuánto tiempo? el que dure ese tránsito, ¿sabemos por ventura cuál será la carga de los camiones dentro de un siglo? No ¿vale la pena de proyectar la estructura y gastar más dinero para que dure 3 siglos? probablemente no. Recuerdo a este respecto una anécdota del Coronel Loren cuando en la guerra del 14 fue la pernoctar a Petra, ciudad romana en el desierto. No está en ruinas, es decir, que la abandonaron los que tenían que vivir allí, porque allí no se podía vivir por ser un desierto. Comentaba él mirando las estructuras de todas estas construcciones que todavía viven «¿no se daban cuenta los romanos lo vanidosos que eran al creerse que su imperio iba a ser eterno?... ellos no duraron ni la mitad que estas piedras». Pues bien, no caigamos también,

cuando estudiemos la economía de una obra, en el mismo error. Yo no digo que lleguemos al límite de los EE.UU., por ejemplo, que calculan la casa, la vivienda, para 15 años de vida, sea que al cabo de 15 años habrá cambiado la familia, los gustos etc., y ya no les importa. Pero sí quiero decir que el estudio económico, el planteamiento económico del problema hay que hacerlo previamente unido a la razón funcional primaria, antes que ponerse a proyectar. Esto no es corriente hacerlo en relación con la economía y hay que tener en cuenta que no influye solamente la cantidad de material que pongamos; un presupuesto no es proporcional al volumen de materiales; tiene otras partidas, tiene otros precios; y los precios de esa misma medida varían según la forma y el tipo estructural dentro del mismo tipo.

Ya comentamos al hablar materiales como existen leyes para cada tipo. Y es difícil la comparación porque la medida no es solo de volúmenes; sobre todo influye muchísimo la precisión constructiva. Cómo se va a construir aquello y la precisión constructiva son cosas que deben saberse, deben tenerse pensadas y, casi casi me atrevería a decir, antes que el propio tipo estructural, o, por lo menos, en el mismo instante. Dibujadas varias soluciones se pone uno a pensar cual será más conveniente pensando, Lo primero, cómo se va a construir. Si se trata de un edificio, sobre poco más o menos todos los edificios se construyen igual; edificios corrientes, claro, entonces el tipo estructural es siempre el mismo, placas, vigas, soportes..., pero si se trata de hacer un puente de gran luz, no es lo mismo hacerlo con una cimbra flotante que con una cimbra recogida, es decir, dependerá de los medios auxiliares que tengamos o que podamos hacer un puente en arco o no podamos hacerlo, o que sea mucho más económico hacer una vida recta con lanzamiento. No se puede proyectar una obra y decir nuevo: «a ver quién es el guapo, el contratista, que lo hace». Tenemos que saber una forma de construirlo, aunque luego el contratista pueda ser que encuentre otra solución para hacer aquello mismo mejor que nosotros. Pero tenemos que tener una solución, un sistema constructivo que se amolde a lo que hemos proyectado y que puede, como digo, en muchísimos casos, sobre todo en las grandes obras de ingeniería, ser decisivo en cuanto a tipo estructural según los medios auxiliares que se disponga.

El proceso constructivo es, pues, una técnica y una cuestión determinante o terriblemente influyente en la elección del tipo estructural. Pero, en

fin, esto es un medio, no un fin. Me he desviado, por consiguiente, de lo que quiero decir, porque quiero citar las condiciones que deben cumplirse: primero como razón funcional y finalidad primaria de la obra con sus variantes y condiciones; segundo su resistencia o propiedades estáticas y, cómo tercera condición, la de máxima economía en combinación o en contraposición con las otras. Pero existe otra cosa que no se debe olvidar y es la condición estética. Todas las obras deben ser lo más estéticas posible porque siempre es una ventaja, una cualidad buena. Y si la bondad, la verdad y la belleza son atributos divinos no podemos prescindir de esta última. ¿Cuánto costaría? ¿valdría la pena?... aquí estamos en materias totalmente heterogéneas y no es posible pedirle a los números ninguna demostración; tenemos que aceptar toda la responsabilidad de la estética y procurar que merezca los mayores elogios posibles. Desde este punto de vista, claro está que la intensidad de esta imposición estética, pudiéramos decir, sería diferente de un caso a otro. No sería lo mismo o no tendríamos las mismas exigencias desde este punto de vista para construir un viaducto, dentro de una población importante, que para construir un puente o una carretera en una de estas zonas medio desérticas que tenemos desgraciadamente, por algunas zonas españolas, y en las que habría que bajarse de la carretera y tirarse terraplén abajo para ver el puente, ya que cuando se pasa por encima lo único que necesita ser estético en la barandilla. Pero aún en este caso, si no cuesta más dinero, si lo único que cuesta es un poco de atención por nuestra parte, tenemos obligación de requerir que aquello tenga una forma agradable incluso para ir aprendiendo con los resultados que tengamos. Hay otras causas en que la razón estética puede, inclusive, ser o fundirse con la razón primaria si lo único que queremos con aquel monumento o aquel trasto o lo que sea, es el de tratar de embellecer la población; a lo mejor la estropeamos pero, en fin, puede llegar a ser la razón estética la razón primaria que se trata de resolver. En general, no lo es y va unida siempre a otras.

Con estas cuatro cosas: razón primaria o finalidad de la obra, condición resistente, condición estética y condición económica, ya comprendemos que el problema es difícil. Tenemos que sacrificar más o menos una u otra porque no encontramos una solución que nos satisfaga todas al máximo.

Para resolver el problema tenemos que decir, qué variables tenemos. En primer lugar, el material o materiales; cómo tenemos que elegir el material? Si es una zona montañosa, probablemente

lo más económico es la piedra o el hormigón que lleve mucha piedra. Si estamos en una zona arcillosa es posible que podamos hacer el puente de ladrillo o metálico. Dependerá de los transportes, dependerá de lo que la naturaleza nos ofrezca como económicamente posible. Pero en cuanto elegimos el material hemos limitado el número de soluciones posibles. Si es una zona de piedra, por ejemplo, y vamos a hacer lo de granito, muy bien; pero de granito no podremos hacer una viga recta y si el puente es muy bajo tendremos que hacer un arco muy rebajado con muchas dificultades de cimentación, lo cual puede encarecer la obra hasta tal punto que fuera preferible prescindir de esa ventaja directa que ofrece la zona como material y, en cambio, pagar más de transporte de adquisición de lo que sea porque la obra va a salir mejor solamente, o porque la obra, en definitiva, va a salir más económica. Llegamos pues a otro tipo estructural diferente para el cual no es apta la piedra y sí lo es el hierro. Habrá pues que estudiar el material en relación con el tipo estructural y tenemos que constatar qué adaptabilidad tiene el material con los diferentes tipos estructurales y viceversa.

Después vendrá la elección del tipo estructural ¿hacemos un arco? ¿hacemos una viga recta? ¿hacemos un puente colgante? ¿hacemos otras cosas raras? Como este va a ser el tema fundamental del Curso no necesito comentarlo ahora. Lo que estoy tratando es quitarme temas de encima para quedarme libre para todo lo otro.

Después vendrán las dimensiones, dentro de este tipo, el cual tendrá que venir comprobado, pero en realidad es un problema que tiene ya una personalidad diferente. Una cosa es decir, voy a hacer un arco, voy a hacer una viga recta, y otra, ¿qué espesores tengo que dar al arco? ¿cómo me conviene más? ¿un arco elíptico? ¿un arco parabólico?, etc. Es decir, ya el afinamiento de esos espesores o dimensiones es un tema diferente de la elección del propio tipo estructural. Y muchas veces, sobre todo si no se tiene experiencia suficiente, cuando se da este segundo paso se encuentra uno con condiciones tales que pueden obligar a cambiar el tipo que uno había elegido.

Y, por último, habrá un proceso constructivo en el que habrá que pensar desde el principio. Como ya dije, porque la obra esencialmente es construcción, hoy hay que hacerla, hoy no es verla después de hecha. A un ingeniero y a un arquitecto una obra después de terminada le interesa poco, yo al menos hay muchas que no he visto, he pasado a la siguiente. La vida es eso y en nuestra profesión

mucho más. No es que les recomiende a Vds. que no vean sus obras, no; conviene ver lo mal que han quedado, y corregirlo en lo siguiente. Pero quiero decir con esto que la obra es esencialmente para nosotros. Después si está bien hecha cumplirá su función y si no está bien hecha ¡que le vamos hacer! o derruirla o empezar otra. Por consiguiente como no es fácil construir, el proceso de construcción debe estar bien estudiado; es esencial y va íntimamente ligado al tipo estructural y es tan importante como el propio. No se puede, no sirve de nada decir voy a hacer un arco colgado del muro, o el puente de la célebre leyenda del puente del Diablo pues, sobre todo, después de haber quitado las cimbras parece que él es el autor de todos ellos. Si el río no es navegable no se puede hacer con cimbra, o si la profundidad es demasiado grande, y puede llegar un momento en que no pueda ser solución el arco y haya que ir a puente colgante con proceso constructivo diferente, mucho más ligero.

En definitiva, y como conclusión a esta primera parte de la charla, nos encontramos, descrito un poco con lenguaje matemático aunque en realidad no tiene nada que ver con las matemáticas, con cuatro incógnitas variables a elegir: el material, el tipo estructural, dimensiones -que como veremos estas dimensiones no son obligadas, y el proceso constructivo. Para dar esencia a todo eso que hemos imaginado, tenemos cuatro incógnitas y al mismo tiempo cuatro ecuaciones o condiciones: la primaria, la resistente, la estética y la económica, que cumplir. Las ecuaciones no son lineales ni mucho menos de coeficiente constante, sino más bien parecerían unas ecuaciones diferenciales, que si se quieren resolver exactamente pues son incompatibles en general y si se quieren resolver aproximadamente entonces resulta con un máximo de soluciones bastante grande entre las cuales hay que elegir al final y no por gusto. Cada uno valora a su modo y el problema no es definido. Pero, por lo general, cuando se quiere afinar y resolverlo bien da muchos quebraderos de cabeza, que Por otra parte, cuándo se tiene afición a la profesión, constituye un tema alucinante. Pero es difícil analizar en aquellos momentos, es decir, cuando ya se ha centrado el problema, cómo se ha llegado a la solución. Otro día hablaremos del proceso intelectual y los cuidados que hay que tener durante este momento de gestación. El caso es que rara vez se encuentra una solución que digamos, esta es la o macho, esta es la que resuelve el problema óptimamente. No, no tengo duda. No, el caso es que no encuentre otra pero!! qué lástima que esta tenga este defecto o

aquel otro! ... y si voy por aquí me sale esto... y si voy para allá me sale esto otro..., me quedo en medio... No esperéis de mí que yo os dé la solución, pero creo que trabajando sobre ello, pensando, reflexionando, estudiando cuáles son las razones por las cuales uno tiende a una solución o a otra se aprende mucho y se aproxima a una posibilidad de realización o de éxito en esa creación.

También quería advertir que voy a referirme solamente a la parte resistente —ya digo que no me gusta esta palabra—, la parte sustentante, sostén de esta estructura. (En fin, la palabra sostén tiene otro significado). El sostén, mejor dicho la estructura sustentante, hoy día se personaliza a diferencia a lo que ocurría en la antigüedad y constituye corrientemente un elemento independiente, superpuesto o intrapuesto, que sostiene a los demás elementos de la construcción que son los funcionales. Y si antes, un muro era un muro de piedra macizo y ya está, pues ese muro hacía todo lo que tenía que hacer, hoy día, como sabemos más y analizamos y queremos afinar, pues queremos que el muro tiene que ser antisonoro con una cierta impermeabilidad a la intemperie, técnica y óptica (en ésta se obtiene demasiado). Luego hace falta algo que lo sostenga y con ello descomponemos el muro. Hoy es corriente encontrar un muro en que hay un plaqueado como elemento que le define de la intemperie; una capa de corcho, para defenderle de la temperatura, y que por dentro de la habitación tiene un revestimiento antireverberante para defenderle acústicamente y como ninguno de esos tres se sostiene sólo tenemos un elemento estructural, vamos a llamarle así, estructural, al sostén de todo aquello separado de los otros independiente y con una personalidad propia que no tenía antes el muro de piedra, ya que las mismas piedras hacían todo a la vez. Muchas veces se dice el esqueleto. A mí no me gusta eso del esqueleto, no es simpática la palabra, pero además es que el esqueleto, la palabra esqueleto, da una sensación, aparte de la desagradable, de armazón, de caparazón, de conjunto de elementos, que si en ciertos casos la estructura es eso, un entramado vertical y horizontal de un edificio la técnica actual va tendiendo a separarse de él. Por lo pronto hay todas las estructuras superficiales laminares que no tiene nada que ver con un esqueleto. Si acaso sería la piel, se dio una superficie continua que envuelve, por ejemplo si se trata de una cubierta del edificio que no tiene nada que ver con el esqueleto, todo lo contrario; y hay además los macizos tridimensionales de una presa de gravedad, por ejemplo. Una presa de gravedad es tridimensional, no

tiene nada que ver con un esqueleto y es una para mí al menos, Mientras no encontremos una palabra mejor, una estructura, la sustentante de sí misma o, mejor dicho, es la sustentante del agua, la que evita el paso del agua y crea el salto.

En fin, no interpreten la palabra estructura como un conjunto esquelético estructural, armazón, caparazón, cualquier otra palabra que se refiere en definitiva hablando más técnicamente, a un conjunto de piezas prismáticas, esto constituye un grupo de estructuras, pero hay otras, muchas, menos estudiadas y, por consiguiente, que nos interesa más comentar. Lo que sí quiero decir, es que me voy a referir exclusivamente a estructuras, llamando estructura al elemento sustentante, como he dicho antes, de la construcción; que puede ser ella misma o puede ser formada de otros elementos. No me voy a referir a temas arquitectónicos en su parte funcional, etc., ni siquiera en ingeniería, sino a la parte resistente de la construcción, dando, naturalmente, más importancia, a los fenómenos estático resistentes sin deformabilidades, etc., que a lo otro.

Y ya para terminar, quiero decir, que la solución del tema no es deductiva. No existe ningún cerebro humano ni electrónico al que se le planteen los temas y diga: esta es la solución y, además, demuestre que esa es la solución óptima. Que esa es una solución sí, pero qué es la óptima no se puede demostrar por muchos formularios, libros o textos que se busquen. Pretender que por razonamiento lógico o silogismos sucesivos se llegue al resultado, no, porque no es una ciencia que cumple esta condición, sino que se aproxima más a un arte. Pudiéramos llamar, el arte de proyectar estructuras. Un arte, en cuanto tiene de imaginativo, de creador, de intuitivo, de gracia, en definitiva buscarle la solución. Y esto hace mucho más atractivo, como digo, hace mucho más fascinante el problema que si se tratara simplemente de una deducción de resultado obligado. Evidentemente el cálculo no podría, no puede, como he dicho antes, comprobar bien o mal. En todo caso decir gordo o fino, pero arco o viga o cúpula, eso no lo dice el cálculo. Y, como veremos, hoy día hay muchas soluciones en las cuales no se piensa y muchas creadas corrientemente. Los libros hablan de las soluciones clásicas o corrientes. Cálculo de vigas, cálculo de pórticos, hormigón armado, estructuras metálicas, etc, y lo que tienen de desarrollo secundario o posterior de aquéllas, pero no en cuanto a la elección a las propiedades, a las ventajas internas de aquel tipo. Esto como digo, no sale deductivamente. Hay que idearlo y hay muchos tipos que ya podemos considerar clásicos que,

en general, son los que están tratados. Y hay muchos tipos modernos que, en general, no están tratados y, por eso, no son clásicos y hay otros muchos en el «bote» de los inventos. Todavía, evidentemente, la humanidad no ha agotado los tipos estructurales ni muchísimo menos. En esta época se demuestra mejor que ninguna. Ya, cuando hablemos de esto, recomendaré que siempre se empiece por estudiar las soluciones clásicas o tenerlas a mano para poder comparar o criticar con ellas una solución nueva. Nunca debemos conformarnos con aquella clásica porque, en general, es una solución perfecta para un tipo determinado de problema de planteamiento y es raro que, en cada caso particular, no tenga una variante mejor que aquella solución clásica y que tenga sus defectos a pesar de ello. Probablemente el 90% de los casos será una solución clásica ya que por eso se ha establecido; pero no olvidemos que para cada caso particular es diferente y que puede haber otras soluciones no clásicas e incluso otras que se pueden idear o modificaciones o combinaciones existentes para aquel caso particular que constituye en cierto modo un invento o una creación original. Y este arte tiene su técnica como todos los artes, evidentemente harán falta unas condiciones personales, algunos que las tengan mejores «graznarán» sobre los otros, pero no es solo arte ni imaginación; la imaginación sola no serviría más que para construir figuras de humo en el aire como aquellas de «BOJ» o de «PAPINI», Cuyo encanto estaba precisamente en que no duraba más que unos segundos. Aquí se trata de

lo contrario, aquí hay que ponerla sobre los pies en tierra y que se esté quieta. Y que salga económica y que salga todo esto que he dicho. Y todo esto tiene su técnica lo cual no quita para que sea un arte, por qué el arte de la pintura o de la música también tiene su técnica. Velázquez y Goya tenían su técnica y perfeccionaron la técnica existente para llenar la necesidad física que creaban. Pues aquí nos pasa igual, aquí necesitamos una técnica y esa técnica no sólo el punto de vista de comprobación sino desde el punto de vista de creación, que es lo que quisiera hablar por lo menos en la última parte del Curso.

Para hacer de nuestra charla, definidos o repetidos otra vez que no esperéis de mí nada nuevo, nada original, nada que no se encuentre si no en los libros por lo menos sí en la vida, en la experiencia y en una vida profesional cualquiera. Son simplemente comentarios, tratar de enlazar aquello, de meditar para asimilarlo mejor. Podrá abrir una idea nueva, pero sobre todo, que la finalidad a mi modo de ver de estas charlas, qué es como he dicho al principio pesar, sentir por consiguiente, que lo de menos es lo que yo diga. Es decir: que no me importa nada que las ideas que saquéis sean las contrarias algunas serán más convincentes de las que yo diga, otras, nos convencerán y otras os parecerán o sentiréis que deben ser de otro modo. Bien, pero si habéis pensado en ello y habéis formado vuestro criterio, para mí el éxito es el mismo. Nada más.

ANEXO 2. CONFERENCIA DEL 5 DE MARZO DE 1956. EL FRONTÓN DE RECOLETOS

El Frontón Recoletos fue obra del arquitecto Secundino Zuazo Ugalde (1887-1970) y del ingeniero de caminos Eduardo Torroja Miret. Estaba situado en un solar de 3525,95 m² en la calle Villanueva esquina calle del Cid de Madrid. La obra se termina en febrero de 1936, siendo en su momento el mayor frontón del mundo en su categoría, y una de las obras más significativas de la arquitectura e ingeniería españolas modernas. Las actividades deportivas que se celebraban eran muy diversas, y abarcaban desde pelota vasca a lucha libre o combates de boxeo, interrumpiéndose con el comienzo de la Guerra Civil en julio de 1936, momento en que pasó a ser hospital de sangre.

Durante la Guerra, varios son los proyectiles de cañón que impactan en el edificio. En la primavera de 1937, dos obuses alcanzan la cubierta y ocasionan enormes aberturas en ella, dañando gravemente el faldón más grande las ondas expansivas. Los

desplazamientos que se inician en la estructura no pueden ser estudiados debido a que en el verano de 1936 se habían retirado los instrumentos de medición para el registro de los movimientos de la cubierta, y la situación bélica impidió volverlos a colocar. Cuando se pueden instalar, se observa que las deformaciones existentes son muy graves, que continuaban aumentando lentamente, y se detecta la existencia de numerosas grietas. Aunque se intenta reparar todo el conjunto, el desmoronamiento de la cubierta se produce a las doce de la noche el 15 de agosto de 1939.

El proceso del deterioro estructural ocasionado, las consecuencias de las decisiones tomadas durante la reparación, el hundimiento de la cubierta, o las apreciaciones de Torroja al ver las láminas de hormigón con sus armaduras (*las alas de gaviota*) derrumbadas en el suelo de la sala del frontón, se detallan —de manera conmovedora— en la confe-



Vista interior del frontón. FUENTE: Archivo del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

rencia dada por el ingeniero a sus estudiantes y al público reunido en el salón de actos del Instituto. Eduardo Torroja también explica cómo haría la cubierta de tenerla que hacer él de nuevo en hormigón armado, y su negativa a volverla construir como una lámina con estructura metálica.

Transcripción literal de la conferencia:

(...) Como esto ha sido muy pesado para oyentes, vamos a descansar un poco viendo algunos ejemplos.. En especial voy a comentar uno del frontón Recoletos que es una de las pocas obras que se tienen datos completos, es decir, se hizo un cálculo bastante completo.

También tenía sus errores, pero, enfin, bastante completo. Se hizo un modelo reducido en el cual se estudió, se determinaron bien estas cosas para garantizar el trabajo, porque era una obra record y hoy continuaría siéndolo; lleva 55 m de luz por 32 de anchura; como ahora veremos, el perfil bilobular, bisimétrico, lo cual complicaba enormemente el cálculo. Al final de todo aquello se llegaba a un sistema de 54 ecuaciones con 54 incógnitas, que se pudieron resolver gracias a una habilidad de descomposición en sistemas de 9 ecuaciones en que los dejaba los parámetros libres que se introducían en otro sistema... Un sistema de cálculo curioso, lo digo en el sentido de que era muy complicado y como era una obra de dimensiones sensacionales se hizo una reducida en el cual midieran la cosa para garantizar el comportamiento; había pequeñas diferencias de ángulos, las leyes eran las mismas, solamente un corrimiento de dos grados en los puntos de inflexión, además, estaba justificado. Y después, se construyó, hoy se hicieron medidas en la otra y luego pocos datos pero tenían bastantes datos del comportamiento antes del hundimiento producido a consecuencia de los bombardeos aéreos durante la guerra que sufrimos.

Vías positivas.— Esto es, simplemente, una indicación de lo que he expuesto anteriormente, que no necesita nueva explicación; aquí se ve que aún cuando la membrana o la lámina o lo que sea la apoyemos sobre un borde rígido, hay flexiones, porque si fuera una directriz catenaria, es el único caso en que no da flexiones. Los arcos centrales que son elípticos tienden a bajar de la clave y abrirse de riñones; los centrales podrán hacerlo, si no siguen haciéndolo es por ese efecto de cortante que al querer uno irse de aquí dilata el arco este al querer uno de irse de aquí tiende a abrir, al querer abrir empujo por esfuerzo cortante sobre el faldón, el faldón trabaja como viga para evitar hundimiento de esta

parte, se centra y lo traslada hasta los riñones rígidos; pero porque el riñón no puede deformarse, pero un trabajo de flexión, los empujes de bóveda se transmiten a esta vida inclinada de alma curva que se forma aquí.

Otro.— El sistema de enlace cilindro paralelo de que voy a hablaros únicamente permite diferentes soluciones. Esta fué una primera lámina, tiene 25 mts. de longitud, 16 de anchura, es decir, 8; cuatro y cuatro, en gran directrices elípticas con tangentes verticales aquí y aquí, pero que aquí las Q de aquí no es tan resistidas. De modo que esta parte daba un empuje hacia adentro no demasiado peligroso, no ayuda al pandeo, pero daba un empuje hacia dentro y sobre este conjunto trabaja en realidad como una vida de dos alas gaviota, que llamamos, con una armadura muy fuerte, aquí no era pretensada, era hormigón armado, para soportar esas extracciones que sean de producir cuando todas estas parte quiere una dirección sobre todo hacia adentro, tiene que trabajar esto en otro plexo parecido a esto, pero si no a 90 grados; en espesor era 5 centímetros, la longitud 25 mts., también fue destruida en la guerra. No se tienen datos, no se sabe lo que pasó.

Otra.— Y empiezo con estos 55 mts, de longitud según la generatriz, 32 y medio de anchura, un lóbulo de 7 metros radio y otro de 10 ó 12 mts. Espesor me parece que eran 11 centímetros; esto aquí, dónde había flexiones más importantes, cómo digo, todo se aumentó a 17 ó 18, todos los demás era 12 centímetros de espesor, no lleva viga ni nada, está apoyado en este muro de fondo y en el de delante que no se ve. Como he dicho, hay que dejar libre dilatación en las generatrices. Y al mismo tiempo evitar que se caigan. De modo que iba sujeto en ese punto, en el centro de la generatriz, aquí y aquí, en el punto medio y luego lleva las vielas que permitan la libre dilatación longitudinal la generatriz ni permite movimientos transversales ni verticales. Entonces el apoyo, he dicho, sobre el muro, en realidad, los dos apoyos fundamentales de fondo no eran sobre el muro, eran sobre una estructura que queda dentro del muro, que tenía una serie de soportes que tenían elasticidad suficiente para permitir esa dilatación. El muro era hueco, eran dos muros, y dentro tenía esa estructura con hueco suficiente para moverse longitudinalmente.

Otra.— Esta es una viga bastante mala. Esta membrana presentaba esta peculiaridad; de que un trozo de aquí a aquí era un lucernario en el cual la lámina continua maciza se sustituyó por una triangulación que resiste los mismos esfuerzos. La

curva aquí se descompone en estas dos barras; como forma una triangulación completa puede trabajar igual en una lámina continua, - ya hablaré también de estas láminas trianguladas.

Esta hacía que una, cuando aquí se procuró que la sección virtual fuera la misma de la lámina, no se podía lograr que fuera al mismo tiempo igual la sección y el momento de inercia porque había que dar más canto con los mismos elementos, como no podía ser continuo había que reunir el hormigón de esta anchura y que este cordón, el momento de inercia era mayor de acá y aquí; pero este fenómeno no se tuvo en cuenta en el cálculo porque había, uno, dos, tres, cuatro, cinco bordes próximos, además de que la flexión de un lado puede llegar al otro en esta longitud muy corta, se consideró que la lámina era homogénea y, como he dicho, luego en el modelo lo acusó la mayor rigidez de estas tapas.

El doblado que se vió es un forro de corcho acústico de/que iba forrada la sala, no tenía nada que ver con la estructura.

Otra.— Esta es —perdonad lo sucio de la vía positiva— estos son soportes que permitían el apoyo en muchos puntos de la lámina con un aro de rigidez para salvar, para rigidizar el borde, pero que permitía la dilatación longitudinal, por eso el muro se hizo de esta altura, para que tuviera elasticidad suficiente.

Otra.— Esta es la red de isostáticas que se obtienen; esto es un lóbulo; el grande, y éste es el pequeño. Hay un borde apoyado en vietas aquí y el otro, y éste es la arista de la gaviota. El flexo de flexión en cada faldón con su punto focal aquí es el punto que hemos visto en la clave, más o menos, como no era simétrico, se producía en la otra isostática o centro de compresión como viga, de aquí a aquí, con sus 55 metros de luz, centro de compresión de todo eso.

Aquí se producía tracción; todos pasan oblicuamente, responden a esfuerzos cortantes, lo mismo que hemos visto, y el mismo plexo se reparte aquí, en el pequeño, con otro centro focal aquí y aquí. Estas isostáticas no pasan tangentes al borde como aquí, como aquí; no pueden pasar porque hay un cordón muy fuerte de armadura en la unión, en el borde de la gaviota, igual que hemos visto antes y hacia que era la que tenía que resistir la tracción de la cabeza de tracción de esa viga en gaviota. Por consiguiente, como ella producía esfuerzos cortantes sobre las dos alas, pues, claro, las isostáticas vienen más o menos a 45 grados porque ahí sí hay la transmisión de cortantes desde el lóbulo a ese refuerzo que estaba, que era indepen-

diente, estaba unido, pero era un elemento de refuerzo además de la lámina; no independiente, pero separado tensionalmente de la lámina, pudiéramos decir. ste flexo se ha determinado por punto como resultante del cálculo, que fue imponiendo por puntos, las tensiones se sacaron por cálculo de Mor, se sacaron tangente para comprobar que no había errores locales, efectivamente no los había. Creo recordar que no hubo ninguno, si acaso sería una de esas operaciones de última hora que se corrigen rápidamente; no presentó dificultades; la obtención de la ecuación N sí, pero los resultados correspondían a un frexo uniforme:

Otra.— Aquí tenemos que he dicho antes. La deformada que resultaba de atar aquí o porque se calcula los corrimientos, además era la línea T, —no, perdón, Estas son las leyes de momentos flectores.— Como he dicho, aquí saca un máximo negativo, luego pasa a positivo, luego se pierde. Aquí, cómo es articulado, pasa lo que he dicho antes al final de la conferencia anterior; aquí se hunde de esta parte, introduciendo un flexo positivo que abarca hasta aquí. Es posible que las otras negativas... Pero ahí no hay prácticamente flexión; en este otro lado sucede lo mismo, y aquí se ve que el modelo arrojó un corrimiento de este punto respecto al teórico; aquí están casi confundidos por el delineante, pero acusan una diferencia. Aquí lo mismo, porque como esto era mucho más rígido, esta onda se prolongaba más y daba flexiones mayores que si el espesor hubiera sido el de los once centímetros. Esta diferencia estaba justificada en el lóbulo éste, no se notaron diferencias parciales; parece que se debían de haber notado, pero no se notaron.

Otra. Esta es una vida del modelo; hecho de un decimo, 5,50 de longitud, que fue construido sobre todos los aparatos, sistemas de montaje por la firma Incoln, y otra de las complicaciones era que como la bóveda era muy peraltada, como veis, las leyes de peso de nieve y de viento no las consideramos iguales, si la nieve podrá cargar más la parte central y amontonarse en las partes laterales, que no podía haber nieve por la mucha pendiente, se establecieron unas leyes trascendentes que se parecieran a las/probables y el viento se estudió en relación con los edificios colindantes y se veía venir el viento del otro lado, la presión en este faldón y en subción en esta parte, y la subción la representa bajo una tracción, representada por unos alambres que van a unos balancines, a otros, mediante un juegos de poleas a un... que es el que producía la tracción en la zona que consideremos que estará en su subción.

Otra.— Estos son microscopios; el sistema óptico es el mismo de un microscopio, pero tenía 2 m de largo entre ocular y objetivo, con objeto de medir los corrimientos ópticamente desde fuera sin necesidad de meterse dentro.

Otra.— Este es el interior, no se ven los hilos, por aquí cuelgan, aquí se ven los balancines. La carga no era uniforme, era cortada muchos puntitos; y van pasando los balancines hasta una placa que había aquí, mediante dos gatos hidráulicos se cargaba el sistema. Estaba hecho para que la presión fuera uniforme sobre todos los puntos y para que se vaciara uno y automáticamente se descargaban todo. Porque si hubiera fallado en una zona, y entonces se establecía un régimen de carga que es totalmente diferente, que se iba a presentar, que hubiera roto la lámina sin indicarnos nada. Estas placas están fijas. Sobre una viga independiente que lleva cimientos independientes y esta aguja marcaba sobre estos puntos los corrimientos y los giros, además había unos escalómetros dentro de la lámina que siguieron muchas medidas. El modelo era escala un décimo y con espesor del orden de un centímetro en mortero armado con los módulos de elasticidad correspondientes, etc.

Otra.— Esta es una vista de la obra en construcción; aquí se ve el lucernario grande, aquí las armadura del pequeño sin poner todavía los encofrados y por aquí la lámina continua con sus armaduras sobre el encofrado. Era relativamente sencillo el encofrado.

Otra.— La otra construcción, y funcionó durante unos años hasta que aguantó varios cañoneos; cuando después de la guerra, cuando se pudo verla presentaba unos agujeros por alguno de los cuales podría pasar un coche, de 4 x 4, por ejemplo, y había trozos de lámina en que le faltaba un boquete de 4 metros de diámetro. Aquello seguía sosteniéndose, pero había un fenómeno muy curioso y grave; y es que si ésto estaba apoyado aquí y aquí, las N. compresión longitudinal producen por aquí arriba, por aquí hay una zona de compresiones que van disminuyendo; aquí hay tracciones; pero esas tracciones en una armadura, en un refuerzo que había aquí independiente, mayor espesor, como he dicho, dónde entraba un paquete de armadura soldada de 55 metros de lardo, soldada eléctricamente por los 5 ó 6 metros, si no recuerdo mal eran 16 cuadrados de 40 mm.; toda la armadura, prácticamente, estaba allí. Todos los demás llevaba, no me acuerdo, si llevaba 12 Kgs por metro cuadrado; poco; pero con este esfuerzo subía bastante. Aquí había tracción, pero las tracciones se concentraban

mucho en la gaviota, aquí formaban compresión otra vez; y aquí tracciones. La ley, es decir las compresiones podían coger uno... se podían coger algo así, y aquí, éstos eran, estos son compresiones lo que voy a rayar... y aquí las compresiones serían por aquí, y lo demás habían tracciones; de modo, que había aquí unas, un trozo en compresión y aquí, este otro, pero este otro podía bastante lucernario; en la zona esta de lucernario había unas barras, las de arriba, que estaban en compresión; la rigidez era suficiente porque aquí tenía más rigidez que en el resto; el resto no pandeaba. Y áquello duró un año; no pandeaba. Pero cuando acabó la guerra y me llamaron parair a inspeccionar la obra y ver lo que hacía con aquello, no me preocupan los agujeros; aquello no parecía que por eso le pasara nada. En algunos de ellos, la armadura había salido, pero nosotros todavía quedaba hierro, era fácil empalmar, volver a hormigonar eso y hubiera resistido bien, porque hay otras en que se han producido cosas parecidas de fondo, lo cual en una lámina tiene poca importancia; la lámina es eminentemente sinérgica, es un solo conjunto todo ello. Lo grave es que esta generatriz y las siguientes estaban pandeadas. Están en tracción. Tenía desviaciones en el centro del orden de 60 centímetros, en sección transversal, en esta dirección; de modo, que acá y aquí estaba fijo, pero se había curvado en ese plano y tenía una flecha de 60 centímetros. Había algun agrietamiento, no demasiado grande; y había una grietas en clave longitudinalmente por aquí, en la cara superior. Inmediatamente mandé colocar aparatos para ver lo que ocurría, lo que fuera a ocurrir; y, desgraciadamente, no se pudo, estábamos todavía en periodo de guerra, o determinación de guerra, estaba ocupado militarmente el edificio, no le daba mucha importancia al asunto, hubo retrasos en poder montar aquello, pero por fin se montaron unos aparatos y se empezó la reparación. Del estudio de aquello parece ser que lo que produjo esto, pon la fecha y demás, se pudo comprobar y los testigos oculares declararon esto a quién preguntamos, parece ser que se produjo ese movimiento, o apareció a continuación de un bombardeo aéreo con bombas de no sé qué potencia, la cuales, probablemente caerían próximas a la membrana. Probablemente no fué de las que hizo impactos, pero fue la que abrió todo el conjunto, como voy a explicar.

Vía positiva.— La membrana acusaba una deformación por este lado. Aquí está muy exagerado, pero en fin, da un descenso aquí de 60 centímetros; aquí, por arriba, había subido un poco, no recuerdo

cuánto. Ese fenómeno me pare-ce que... (la de antes. La de antes. Me parece que había antes otra)

Esta: Parece que, como digo, por aquí debido a explotar una bomba, entonces se produjo una onda explosiva que al llegar aquí abarcaba una zona grande de lámina; si no era un efecto o casi no debió de abarcar una gran zona de lóbulo, la onda explosiva de empuje, de tensión, y en primer lugar, la lámina tuvo que hundirse de aquí según esta línea de trazos, al llegar aquí se encontró con esto rígido, como quería hundirse de aquí y no podía seguir por ahí, de pronto se abrió esta grieta, quizá, y logró, probablemente, levantar de aquí un poco, pero muy poco, las grietas debidas a esta onda por esta zona no se puede asegurar si existían o no después, como en todas ondas explosivas se produjo la de vacío. Si la onda de vacío correspondía o no con el período de contracción propio, no está claro, pero si viene una onda de vacío como tuvo que venir se pasa a la posición dos, se invierte fenómeno de aquí, tira, la presión es mayor que la anterior, vuelve hacia aquí, si es articulada allí, abre grietas por abajo, pero al venir aquí el fenómeno es más grave, al correrse hacia la izquierda ésto que en la zona central está trabajando como en un arco ó bóveda, al venirse aquí esto, hacia aquí, falla la Q aquí y por consiguiente esto se hunde; y luego deberá oscilar más o menos. Pero a romperse de aquí, y bajar ésta, y bajar éstos más de lo que está aquí dibujado, sobre todo al hundirse de aquí, estas generatrices serán rectas, o debían de ser rectas, quedaron curvas. En la parte en tracción no hubiera importado mucho pero en la parte en compresión las que cojan todas van por aquí, tendremos lucernario, o en compresión al encontrarse curvadas aumentaron su compresión y como el hormigón es plástico ante una compresión unitaria muy fuerte, no sabemos de cuánto, en fin, quizá el 70, 80 por 100 de la carga que producirá, no sé, quizás menos; se produce la nueva deformación lenta correspondiente a esa presión; entonces había peligro de pandeo lento característico del hormigón, pandeos que se van produciendo con el tiempo cuando las piezas son muy esbeltas, y ésta tenía un larguero (de espesor) que tenía 30 centímetros de altura y 55 de longitud; la esbeltez era de 170, ésta que está sostenida de ahí y se sostenía como cualquier elemento longitudinal de lámina, se sostenía por efecto del arco de las demás, por efecto de lámina de conjunto; pero sí se la saca de su posición y se la obliga a pandear ella pues sube a una longitud radial hacia dentro que empeora el fenómeno.

Otra.— Entonces se colocaron los aparatos. Lo que pasaba era que aquello continuaba aumentando lentamente el pandeo. El fenómeno era muy grave ; se avisó inmediatamente; como digo, hubo retraso muy desgraciado, porque probablemente hubiera sido posible salvar la obra. Y entonces se mandó a apuntalar, levantar todo el encofrado de abajo a arriba, 25 metros de altura sobre la cancha. Poco se tardó en montar aquello, vigilándolo por si acaso, y cuando se estaba por aquí, posiblemente yo cometí un error al mandar quitar, descargar la carga de uralita que había por encima, porque eso llevaba por encima una materia de cobertura fibra de cemento ondulado para evitar el paso del agua y luego, debajo, una capa de corcho. Por adelantar y quitar peso quitamos el recubrimiento y por poder observa mejor las grietas que podía haber además de las que ya habíamos visto en la primera inspección, el 15 de agosto sobrevino una tormenta que mojó totalmente el hormigón, al mojarse el hormigón se produce el entumecimiento, pero además aumenta la deformación plástica y rotura, efectivamente, se notó que inmediatamente aquello avanzaba; que las curvaturas que iban con una velocidad constante aumentaron como consecuencia; y a las pocas horas se produjo el hundimiento en esta forma; acabó de bajar esto que era lo que quería hundirse, venciendo con esta articulación el empuje de la otra que ya tenía en parte vencido, y el fenómeno continúa cayendo; esta parte que cayó por cuera, entonces se rompió de aquí, se desarticuló todo y cayó al fondo. El resultado desastroso fue éste. Aquí se ven las barras de la gaviota de la armadura principal, de la gaviota completamente retorcida y que ninguna de las 17 e 55 metros se rompió. Las soldaduras resistieron perfectamente, separaron del hormigón, se destruyó en pequeños pedazos, quedó a trozos de lucernario pero quedó el conjunto totalmente desecho. Esto sucedió a las 12 de la noche. A la mañana siguiente el guarda, que se nos había olvidado que había un guarda en el sótano, no le pasó nada. Salió a la mañana siguiente diciendo «ha habido un trueno terrible esta noche». No se había enterado de más. Al caer todo aquello dio tal presión sobre las sala, la lámina continuaba cerrada, al bajar que las ventanas, los marcos de ventana salieron proyectados al otro lado de la calle como un cañonazo. Y parte de los trozos cayeron fuera del edificio, la mayor parte dentro.

Naturalmente, ya comprenderéis que siempre es triste perder un hijo, de modo que no me hizo ninguna gracia el hundimiento, pero si este hijo

muere heroicamente, con honor, como en este caso, siempre es consuelo y queda la gran experiencia que producen estas obras. Si tuviera que volver a hacerlo, no lo haría igual. La experiencia, o la vida es un conjunto de experiencias y éstas son amargas como esta, pero con eso se va aprendiendo y siempre queda la esperanza de que con esa experiencia se puede hacer otra obra análoga o mejor, pues la esperanza es lo último que se pierde la vida.

Después de esto, vinieron a pedirme la reposición de la obra, pero no se podía hacer de hormigón porque hubiera salido a un precio enorme; esta obra, que tiene cinco plantas, sótano, canchas, pisos de palcos, etc. se empezó el 12 de septiembre con los cimientos; y el 23 de diciembre del mismo año, a los 3 meses y 20 días me retiré de la obra después de haber descimbrado la cubierta. Esta velocidad fulminante fué debido a que la sociedad propietaria consideraba en una cifra muy grande el mes de antelación por cuestiones financieras, y se hizo todo el hormigón corriente, todo encofrado sin descimbrar nada, no se pudo quitar una madera hasta llegar a cubierta porque no daba tiempo. Los procesos de descimbramiento no llegaban a tiempo para seguir subiendo y la última planta se hizo con cemento aluminoso para poder descifrar rápidamente la cubierta; esta se descimbró a las 48 horas de haber sido hormigonada. Todo aquello era un bloque de madera que la contrata tenía relaciones financieras directas con la entidad propietaria, no le importaba porque era una sociedad constructora que iba a reutilizar aquella madera y porque había unos beneficios por medio. Ahora, mientras teníamos el andamiaje aquello no era más que llegar a cubierta tenía fundamento; en hacerlo de hormigón. Para hormigonar... económicamente no se podía. Se pretendió hacer una lámina triangulada análoga en metal. Por otra razón por la cual el Consejo no la aceptó, y en acceder a la solución de flecha, pero no quise hacerla yo porque consideraba que al fin y al cabo era una traición a lo anterior y no quería que nadie pensara que yo había cambiado de opinión.

Para terminar, en primer lugar, dar importancia a estos pandeos cuando se producen deformaciones de este tipo en elementos en compresión que a la larga pueden dar disgustos. Muchas veces en estas deformaciones lentas en estructuras corrientes no tienen importancia, pero en estructuras de este tipo sí la tiene; puede haber otros fenómenos, no discuto, otros defectos, pero en fin, aquélla acusaba a aquellas deformaciones. El tener aparatos de control siempre es interesante en estos casos

porque puede avisarnos; además el proyecto, el proyecto de reforma era el que voy a explicar ahora, para terminar, en un minuto y es lo que yo haría si tuviera que volver a hacer una lámina igual. No la haría como una lámina continua. Si esta obra hubiera tenido más rigidez, hubiera resistido estos bombardeos. Con la bomba atómica no hubiese no hubiera resistido nada; todo tiene sus límites; no sé si hoy día vale la pena de preocuparse de que una estructura resista más o menos. Pero la idea era que se veía claro que ésto había fallado, y ha fallado ya antes de caerse, por deformación transversal, por flexión. El defecto longitudinal, las N esas seguían trabajando bien. Un N podía producir el pandeo una vez deformado. Yo me refiero a antes de producirse el accidente. Los esfuerzos cortantes también hacían alguna grieta, de esfuerzos cortantes en la diagonal esta había grietas hermosas, vapor, de un par de milímetros. En el hormigón, cosa lógica, también, porque los elementos estos eran elementos de 15 x 30 con una fuerte armadura qué era la que resistía la tracción cortante, la compresión; los otro temo que eran elementos de muy poco hormigón y mucha armadura que siempre se agrieta. De modo que por los fenómenos fundamentales o de lámina a/esto no le hubiera pasado nada. Lo malo fueron las flexiones. La falta de resistencia flexión en este sentido; para un régimen de normal trabajo podía ser aceptado, pero para régimen de tracción imprevisible, no. Vamos, no. No tenía la seguridad que tenía de los demás elementos, como estamos viendo fallaba por flexión, después de la flexión venía el pandeo longitudinal; el inicio fué una deformación por tritración y la solución era meter unos rigirizadores de cuando en cuando aquí, y otro aquí, etc. etc. cada, no me acuerdo, cuánto; unos rigidizadores aquí de 7 u 8 centímetros de ancho por 30 de largo, cada cuatro metros, por ejemplo, pero la idea era dividir, no se sabía si se iba a poder hacer o no, pero el cimbrado y apuntalado ya se puede estar tranquilos, y vamos a ver lo que se pueda hacer con ella. La idea era poner estos rigirizadores con una tensor, hacer unos anclajes en la lámina, pasar unos estribos por aquí y luego con una traviesa y un gato obligar a la lámina, sobre todo en esta zona, tirar la lámina con un gato aquí, a pegarse al rigirizador, si se hubiera ello pegado a la lámina, sino separado. El rigirizador en esta zona hubiera venido separado de ésto para luego tirar de aquí y tratar de llevar a su posición, como las láminas estas son muy deformables, suponía no podíamos llegar a su posición o aguantar los cabos desde abajo, y una vez puesto

en posición atar, envolver un efecto en hormigón para que quedara sujeto. Si hubiera sido posible o no, no lo sé. Desgraciadamente, como digo, por 8 días no pudimos llegar a sostenerla y a hacer estas operaciones, pero yo que sí digo es que si hoy lo tuviera que hacer le pondría los rigidizadores de antemano. Por arriba, poner un control con esta forma, luego otros a distancia que se han de hormigonar.

La rigidez que les presta pasa, debe pasar de 10 ó 12 centímetros de espesor a 30 centímetros aunque sea cada 4 metros, ó 10, es enorme el aumento de rigidez, es muy grande, aumentará un poco la flexión pero tenemos elementos para resistirlo entonces, es posible que un cañoneo hubiera roto uno de los rigidizadores pero la onda hubiera dado menos movimiento; lo malo de esta onda es cuando cae fuera; son una gran superficie, la energía es enorme cuando la lámina es elástica, es delgada se sostiene, pero cuando vibra, cuando se logra poner en vibración porque es elástica, su masa

representa mucho, de modo que tiene una sacudida brutal, la que se le da al conjunto si es rígida y se mueve poco la fuerza que aguanta es prácticamente la misma pero el trabajo es menor, y además, aunque se hubiera deformado y agrietado, incluso roto, algunos de los rigidizadores, siempre queda la rigidez del resto; no se hubiera roto. Hoy las láminas de este tipo las harán con rigidizadores por encima, que creo que es una solución económica y dará enormemente la seguridad de la obra ante los fenómenos éstos. Naturalmente, para lo cual no estaba calculado, ni se puede; no sé si se puede o no, pero me interesa. Además, una estructura que resiste los fenómenos anormales es que es la mejor. El cálculo no es mucho más complicado. No es más complicado que en el otro, es prácticamente igual y se queda más tranquilo.

Mañana hablaremos de los tipos de rigidizadores o triangulación que se puede considerar como láminas y también un cálculo más complicado. Hasta mañana.

ANEXO 3. CONFERENCIA DEL 15 DE FEBRERO DE 1956. LA CERÁMICA ARMADA DE ELADIO DIESTE

La cerámica armada es una técnica constructiva creada y desarrollada por el ingeniero civil uruguayo Eladio Dieste (1917-2000), consistente básicamente en aliar piezas cerámicas, alambres de acero y mortero de cemento. Con esta técnica era posible un ritmo continuo de trabajo con una utilización de encofrados que representaba una fracción muy pequeña de las superficies construidas. El empleo de formas existentes y creadas ex profeso para que el material trabajase preferentemente a compresión, permitió que, en la segunda mitad del siglo xx, esta tecnología se convirtiera en una alternativa eficiente y económica al hormigón armado en países como Uruguay, Argentina y Brasil.

Aunque es improbable que Eduardo Torroja y Eladio Dieste se conocieran personalmente, sí sabían ambos de sus obras, como demuestra la referencia que Eduardo Torroja hace de las obras de Dieste, aun sin acordarse de su nombre, en su charla del día 15 de febrero de 1956.

Prueba de la importancia de esta técnica constructiva es que, a raíz de la visita de personal del Instituto Eduardo Torroja en 1959 a la iglesia parroquial de Cristo Obrero y Nuestra Señora de Lourdes en Estación-Atlántida (Uruguay), se invitó a Eladio Dieste a la redacción de un artículo para la revista *Informes de la Construcción*. Dieste entregó la documentación casi año y medio más tarde, y se publicó en enero de 1961, con el título *Iglesia en Montevideo. Templo parroquial de Atlántida*. Debido a la publicación del año 1961, tanto la iglesia como la técnica de la cerámica armada se internacionalizaron.

El 27 de julio de 2021 esta iglesia fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

Extracto literal de la conferencia del 15 de febrero de 1956:

(...) si la altura es grande y los vientos importantes según sean las dimensiones hay muchas veces que es preferible hacer una chimenea un muro continuo de ladrillo en vez de una estructura de hormigón en estructuras verticales exentas creo también que se exagera muchas veces en el empleo de las estructuras en los palofones o conjuntos de piedras

verticales. Un muro de ladrillo se hace con andamio interior si se quiere fácilmente se van subiendo las hiladas está todo equilibrado y las cargas que resultan sobre él cómo su perímetro es grande suelen ser perfectamente aceptables para el ladrillo. Puede haber el peligro de pandeo de ese tubo de ladrillo en general no, en fin es cosa de calcularlo y ver si existe el peligro de pandeo o no además el ladrillo como he repetido muchas veces admite la colocación de armaduras entre ladrillo y ladrillo admite colocación de armaduras dentro de la junta de aros perfectamente inclusive de armadura vertical con anillos de estos que tienen dos agujeros se puede enhebrar el enhebrar esto por arriba es ya bastante más incómodo pero para este tipo de estructuras no hace falta porque hay que dimensionarlo de forma que no se produzcan tracciones en el para aprovechar bien el ladrillo y la desnivelación de la resultante suele ser muy pequeña la excentricidad resultante suele ser despreciable tanto que (estoy pintando un depósito que he visto no se donde en Sudamérica me parece) esto es perfectamente posible es posible reducir la base por aquello que parece que decía primero el primer día me parece si las dimensiones son muy grandes los pesos aumentan más rápidamente que los empujes del viento etc. y las condiciones de sustentación que a primera vista por el hábito corriente en nuestras cosas pueden resultar aparentemente inestables cuando la dimensión es grande no resultan muchas veces sobra base abajo si hacemos la cosa no maciza sino superficialmente continua puede sobrar base abajo y en cambio arriba necesitamos un diámetro determinado para soportar la carga en realidad aquí la carga también puede volar o debe volar debe volar porque si aquí tenemos momentos fuertes se compensan con los momentos que produzcan los voladizos sobre lo cual viene la cubierta hace falta que el momento negativo de aquí sea el conveniente para disminuir los momentos en el centro y la cosa esté económicamente equilibrada como digo la pared esta pesa poco de este modo procurando reducir el diámetro de la chimenea o de la torre o como le llamamos a eso puede hacerse cosas bastante buenas y ya si que-

réis más pues se puede hacer un depósito en tubo parecido a ese que vimos en una fotografía a propósito de no sé qué me parece que fué cerca del Hipódromo se puede hacer en fin algunas veces he pensado que o tenido ganas de hacer un depósito así. Si yo necesito aquí arriba un volumen de agua yo puedo poner aquí una losa la placa circular para que me aguante el empuje con una bóveda con un buen anillo de sujeción para que no se abra en fin en muchos casos no sé si sería mejor dejar que se llenase de agua hasta abajo con tal de que el paso sea tal que cuando está lleno hasta aquí nada más por consiguiendo la supresión es la más grande no se lleve esto para arriba he de calcular el peso que tengo pero no/me conviene cortar para que cuando el agua esté aquí no me levante todo entonces el agua me quedará en esta zona no hay ningún inconveniente no necesito solera de fondo es decir yo necesitaré aquí una serie de anillos en el mismo ladrillo puedo ir armando no sé si podré o no para soportar las presiones de aquí abajo serán muy fuertes pero como el radio es menor la cantidad de hierro que tenga que poner puede ser que no sea muy fuerte habrá que ver si el exceso de hierro que tengo que poner aquí abajo me compensa o no me compensa al que tiene que poner

aquí para soportar esto en flexión o en cúpula o como sea para ciertas soluciones probablemente no será mejor llenarlo de agua entonces es un hiperboloide de garganta con las dimensiones oportunas para los datos del problema y además este hiperboloide de garganta buenos esto ya no se puede hacer en ladrillo tiene generatrices rectas por consiguiendo también se podrán poner una barras rectas y pretensar por arriba como las fuerza de postesado que yo le de aquí me comprimirán toda la superficie y al comprimirla en este sentido me la comprime/transversalmente también yo tengo un estado de bicompresión en toda la superficie solo con un pretensado que puede ser económico para algo hemos desarrollado unas teorías y unas cosas de láminas de superficie etc. y de pretensado tenemos una técnica nueva y hay que pensar qué podemos hacer con ella pues una de las cosas que se me ha ocurrido para el depósito en esta no he tenido nunca ocasión de hacerla por lo menos desde que se me ocurrió ni tampoco tengo tiempo de pensar en lo que no me importa pues no sé cuanto saldría y demás pero en fin si alguno quiere desarrollarlo ahí lo tiene y para terminar en un momento y ya para cerrar el tema de depósitos los depósitos de carburante de gasolina etc. (...)

ANEXO 4. FOTOGRAFÍAS DEL CURSO

A continuación, se muestran algunas imágenes tomadas durante el desarrollo del curso. Lamentablemente no se ha podido identificar de manera inequívoca a cada estudiante, profesor o colaborador. Por

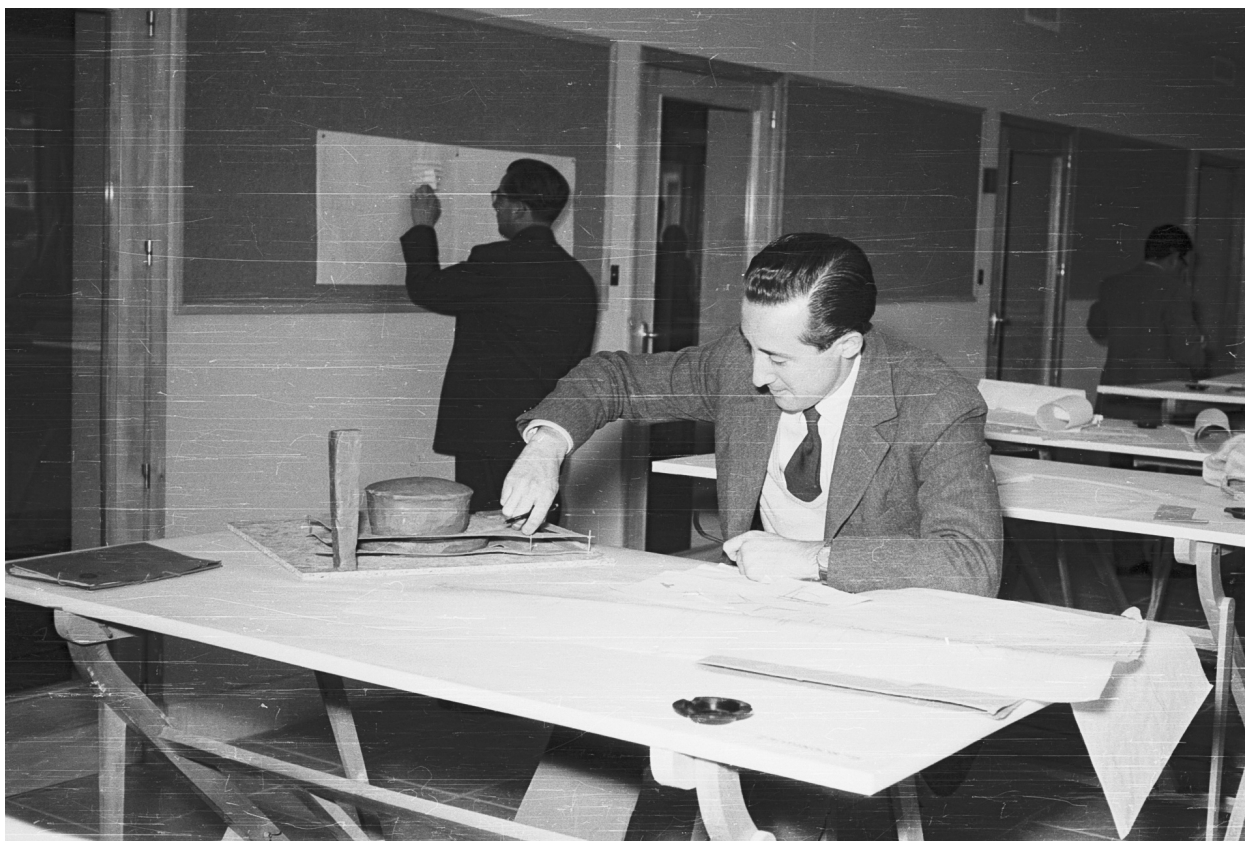
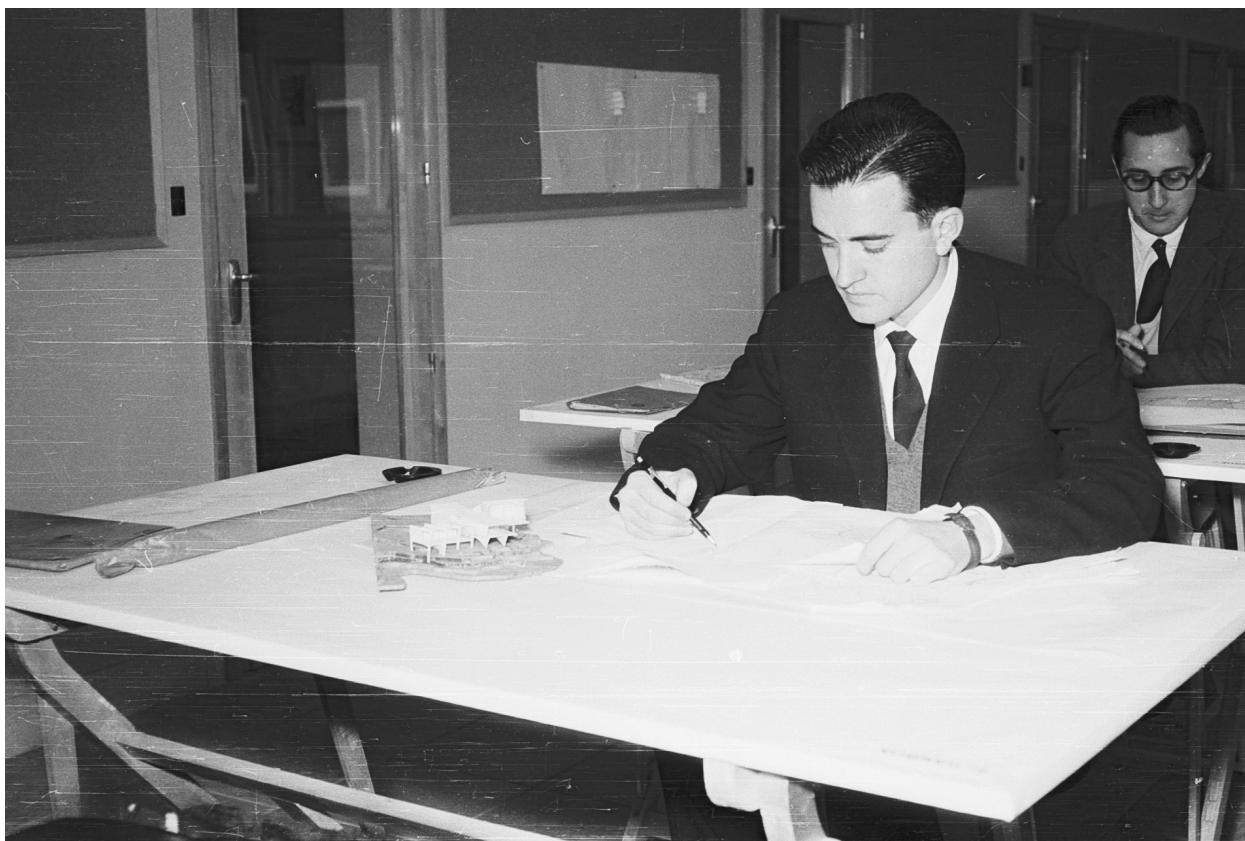
este motivo solo aparecen los nombres de las personas de las que se conoce claramente su identidad.

La fuente de las fotografías es el Archivo Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Imágenes de las clases prácticas







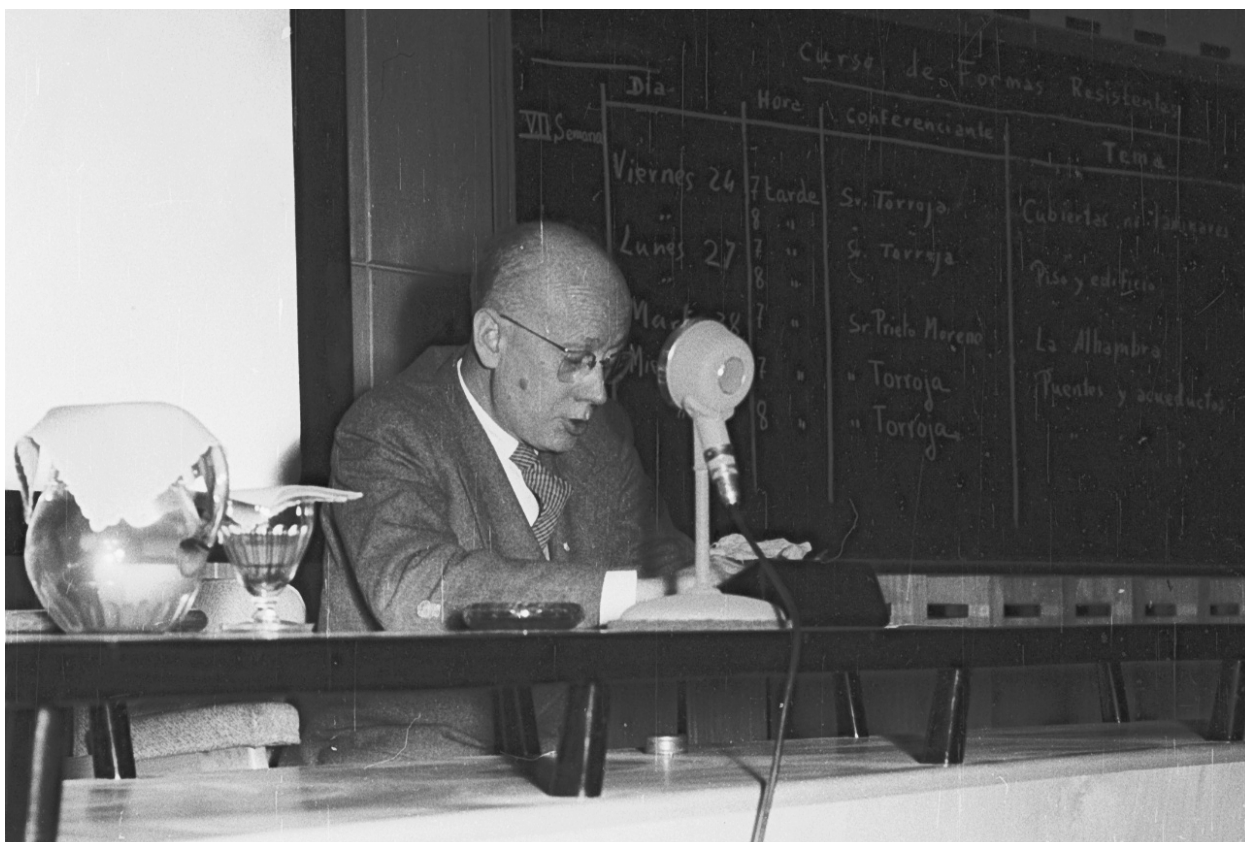


D. Salustiano Albiñana.



De izquierda a derecha:
D. Salustiano Albiñana, D. Fernando
Cassinello, D. Rafael Fernández-
Huidobro y D. Eduardo Torroja.

Las clases teóricas. Eduardo Torroja y los conferenciantes invitados



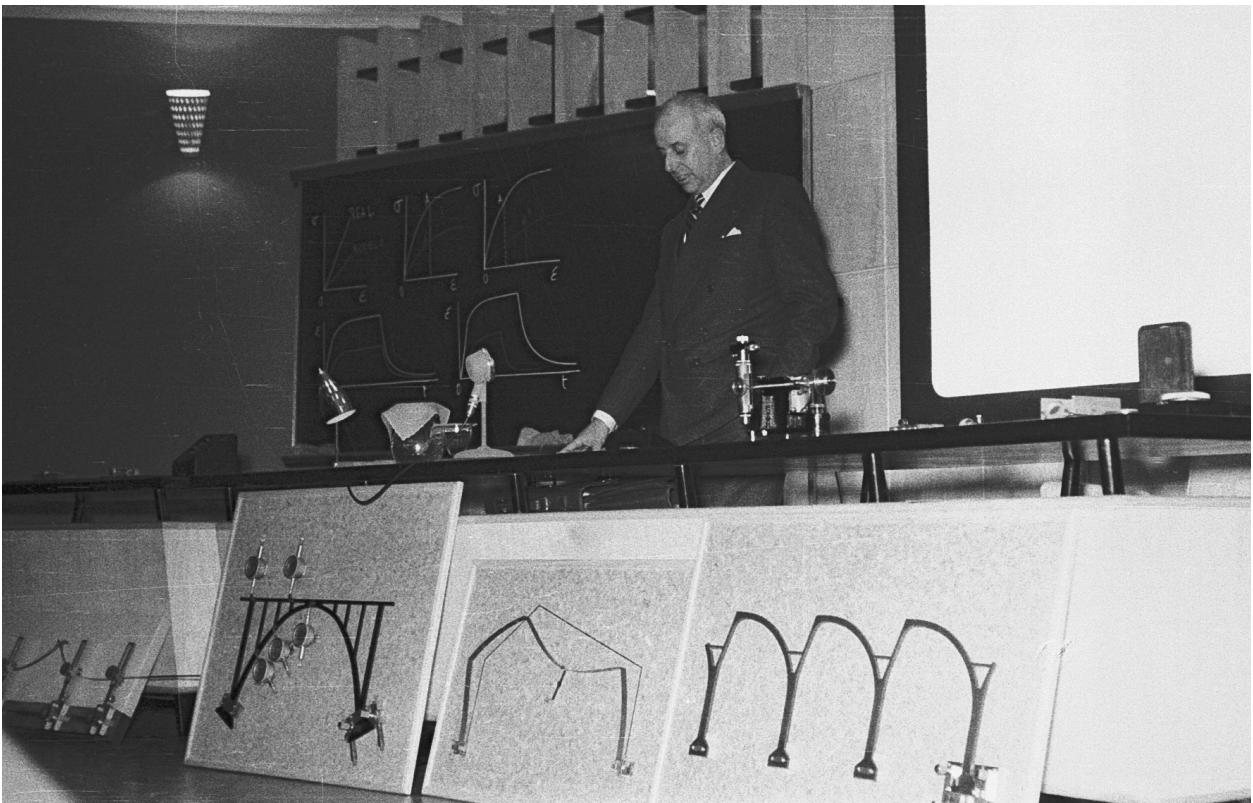
D. Eduardo Torroja.



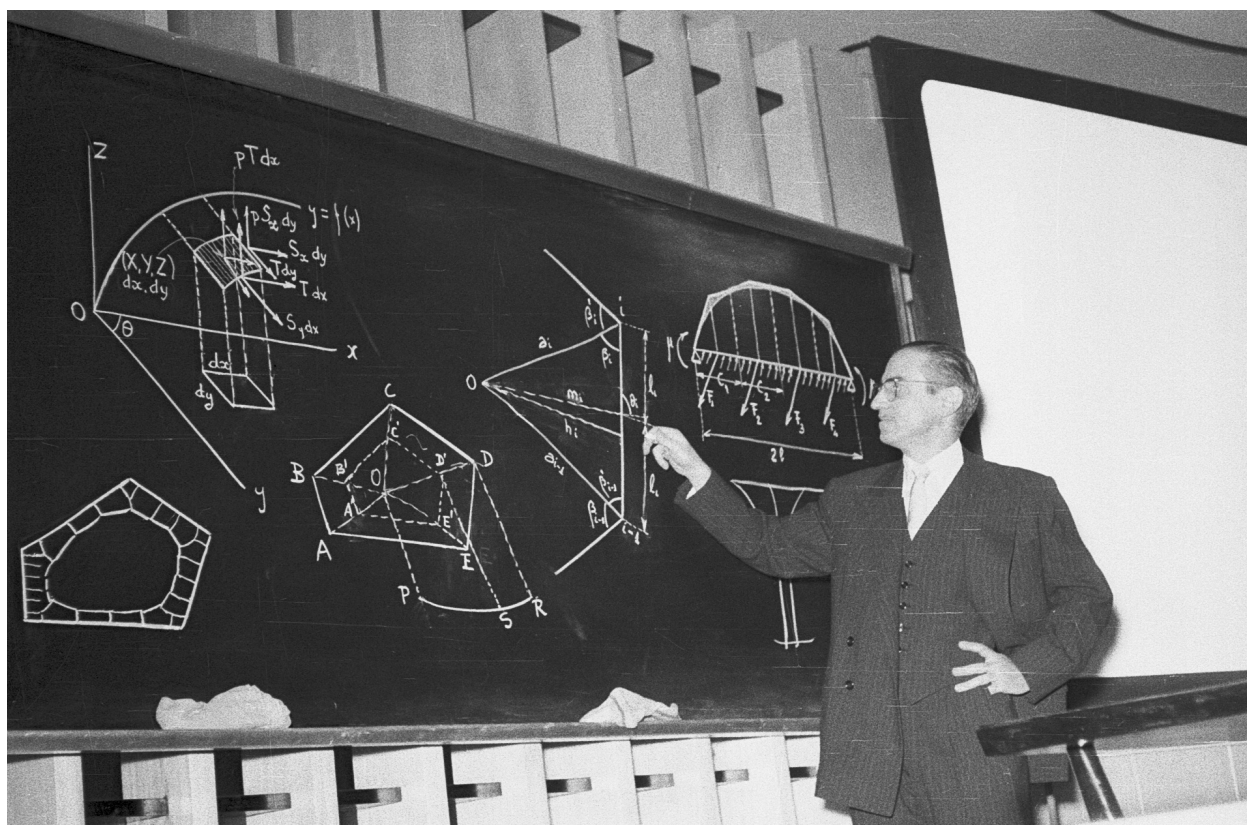
D. Miguel Fisac.



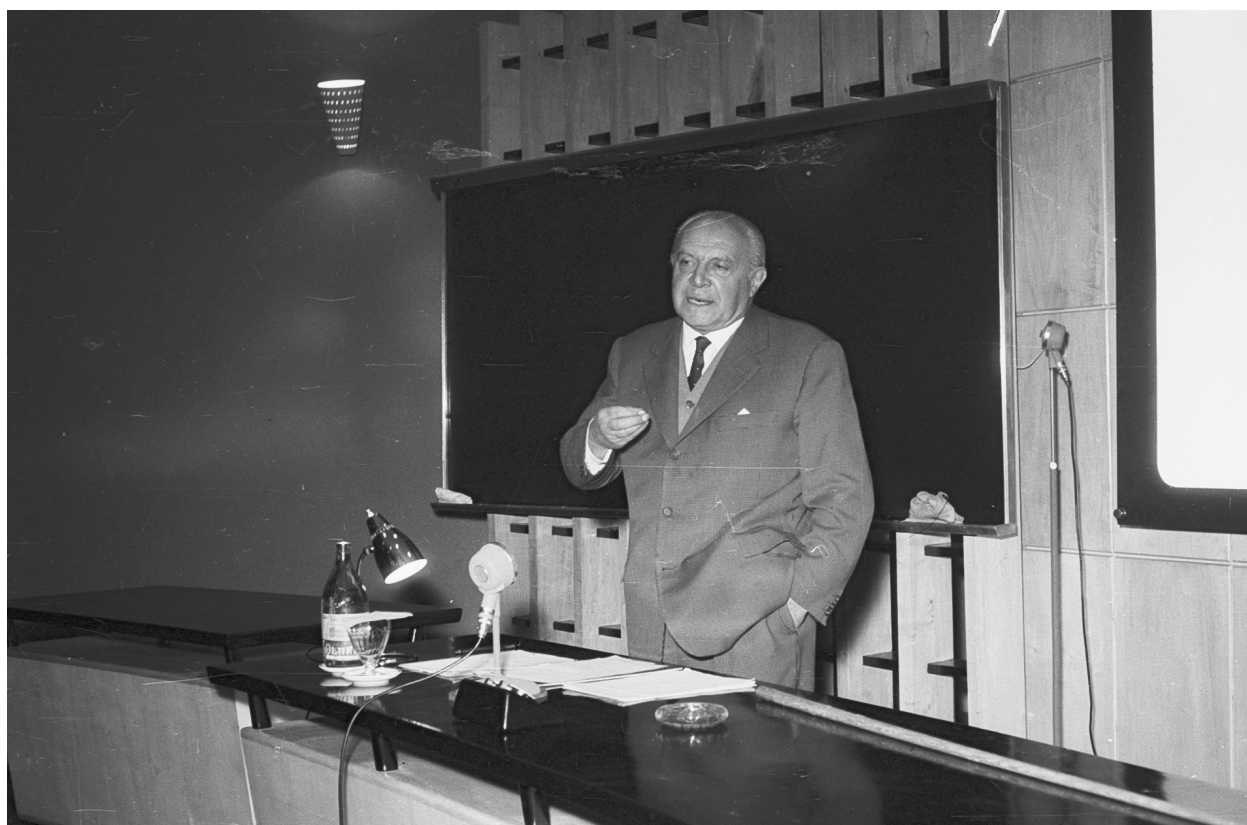
D. José María Aguirre.



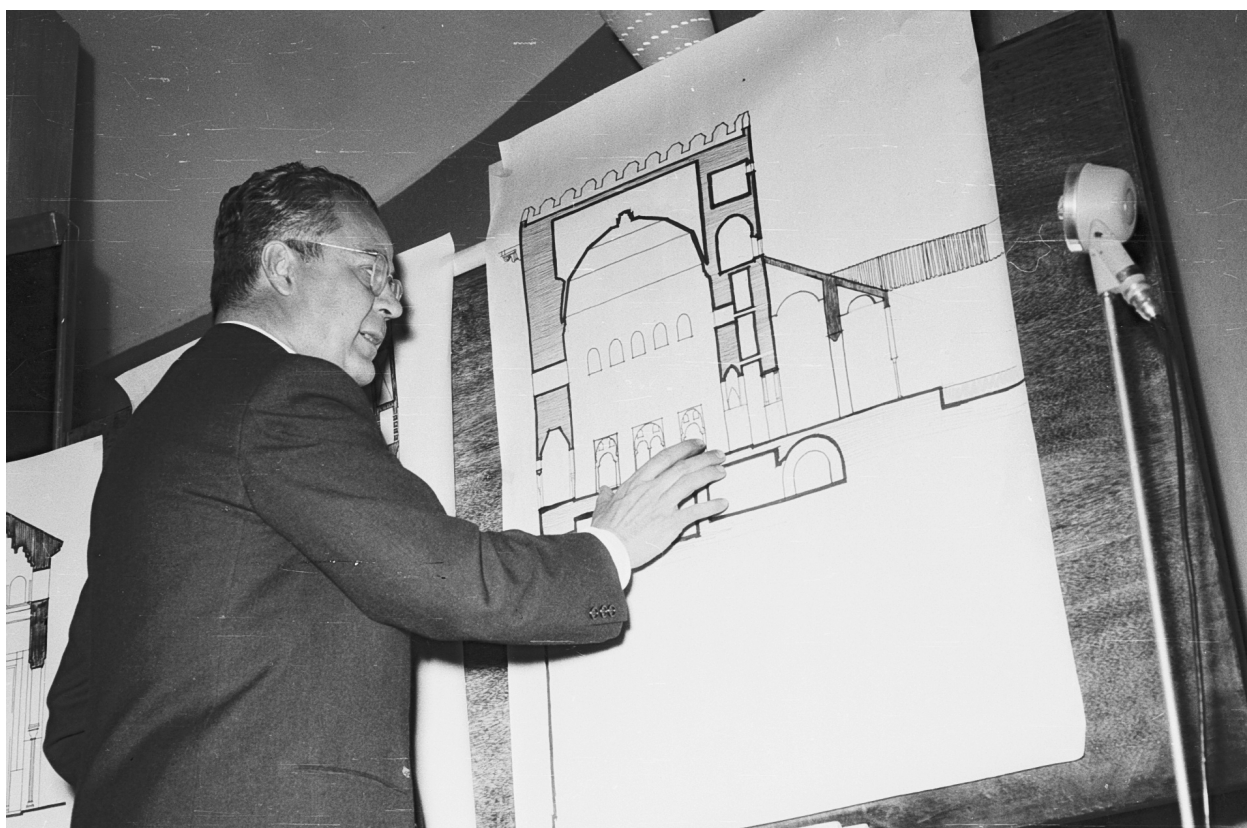
D. Pedro Martínez.



D. Vicente Roglá.



D. Carlos Benito.



D. Francisco Prieto-Moreno.



Estudiantes y público asistente a una de las conferencias.

Las colaboradoras



MONOGRAFÍAS DEL IETcc

ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

432. David Hernández Falagán, *Innovación tecnológica en la arquitectura de Tous y Fargas*, 2020.
433. Laura Caneda Martínez, Moisés Frías Rojas, César Medina Martínez y María Isabel Sánchez de Rojas Gómez, *Aprovechamiento de los residuos procedentes de la minería del carbón como puzolanas para la fabricación de nuevos eco-cementos*, 2021.
434. Ana Tejero González (coord.), *Tecnologías de enfriamiento evaporativo: hacia una climatización descarbonizada y eficiente*, 2021.
435. María Eugenia Maciá Torregrosa, *Comportamiento de las estructuras de fábrica en caso de incendio. Técnicas de diagnóstico, reglamentación y método simplificado de cálculo*, 2022.
436. Borja Frutos Vázquez (coord.), *Mitigación de radón mediante técnica de despresurización. Avances en el diseño y aplicación*, 2022.
437. Paloma Arias Holguín-Veras, Héctor Orozco Camargo, Raül Serra i Fabregà, Joan-Lluis Zamora i Mestre (coord.), *Revestimientos de trencadís con vidrio veneciano de pan de oro en las arquitecturas del modernismo. Comportamiento y reconocimiento de las anomalía*, 2023.
438. Gabriel Muñoz Rebollo, *Puentes-arco de Gabriel Rebollo Canales, pionero del hormigón armado de finales del siglo XIX a principios del XX*, 2023.
439. Antonia Pacios Álvarez (coord.), *Comportamiento de las estructuras de fábrica en caso de incendio. Técnicas de diagnóstico, reglamentación y método simplificado de cálculo*, 2023.
440. Sergio Martín Blas, *Infraestructura, naturaleza y paisaje: transformaciones del río Manzanares*, 2024.
441. Alberto Lastra Sedano, Manuel de Miguel Sánchez y Patricia Gomínguez Gómez, *Curvas y superficies para la arquitectura e ingeniería*, 2024.
442. Juan Carlos Mosquera Feijóo y Jaime Carlos Gálvez Ruiz, *Manual de la poroelasticidad lineal*, 2024.
443. Antonio Miguel Trallero Sanz y Antonio Miguel Trallero Arroyo, *Las reformas interiores realizadas en Guadalajara en el primer tercio del siglo XX*, 2025.
444. María Criado Sanz y María Jimena de Hita Fernández, *Estudio de la capacidad confinante de cementos binarios y ternarios con resinas de intercambio iónico de grado nuclear*, 2025.

El Instituto Técnico de la Construcción y la Edificación (ITCe) fue fundado en 1934 por un grupo de ingenieros y arquitectos, siendo la primera organización que se crea en España dedicada a fomentar los progresos referidos a la construcción, difundir trabajos de investigación y estudiar métodos que tendieran a mejorar las técnicas y procesos constructivos. En 1956, el Instituto, ya bajo el nombre de Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCc), se convierte en la sede de un novedoso curso denominado *Formas resistentes en la construcción moderna*, destinado a posgraduados, preferentemente ingenieros y arquitectos hispanoamericanos, de cuatro meses de duración, con una innovadora estructura y contenido. El programa comprendía clases teóricas, prácticas, ensayos, visitas a edificios y lugares de interés en arquitectura e ingeniería, exposición de los trabajos y un viaje de estudios. Además de los profesores fijos adscritos al curso, se invitó a técnicos especialistas en diferentes campos, para dar conferencias o mostrar sus obras más singulares. Este planteamiento del curso es similar al de los actuales másteres.

El curso se programó y se realizó en el ITCc, a propuesta del Instituto de Cultura Hispánica (ICH), con el fin de crear lazos y puentes de colaboración con profesionales hispanoamericanos. El hecho de que Eduardo Torroja fuera el director del ITCc y del curso, además de profesor de las clases teóricas y prácticas, permitió un ajuste preciso en la planificación de las actividades para que no interfirieran en el trabajo diario del Instituto.

Esta monografía recoge los antecedentes del curso y da una visión somera de la sede del mismo: el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (ITCc). En cuanto al curso *Formas resistentes en la construcción moderna*, se hace un repaso a las temáticas abordadas en el mismo, tanto a cargo del profesor Torroja como de expertos nacionales y extranjeros invitados. Pero también se ha obtenido información sobre los alumnos, medios de transporte para asistir a las clases, el calendario de actividades, publicidad en los medios de comunicación, etc. Todo esto sin olvidar que el documento completo del curso es el germen y la base del libro *Razón y ser de los tipos estructurales*, de Eduardo Torroja, así como de los Cursos de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO).