

CINCUENTA AÑOS DE HORMIGON ARMADO EN ESPAÑA

Por ALFREDO PAEZ BALACA,
Ingeniero de Caminos.

Para conmemorar las bodas de oro de la revista técnica "Concrete and Constructional Engineering", el director de la citada publicación solicitó al autor de este artículo redactase un resumen de la evolución histórica del hormigón armado en España durante los últimos cincuenta años, artículo que, junto con los de otros países, ha constituido el número extraordinario de dicho cincuentenario. Amablemente invitado por la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS para publicar la versión original, se transcribe dicho artículo, en el que se recopila una gran parte de la información técnica, bibliográfica y fotográfica adecuada al compendio de tan vasto programa.

La evolución de la técnica está siempre condicionada por las características propias del país en donde se desarrolla. Las exigencias impuestas por las necesidades primarias obliga a una especialización de los técnicos en determinados aspectos. La repetición del mismo problema una y otra vez, hace que se logren soluciones más adecuadas, a medida que se corrigen los defectos o errores cometidos en veces anteriores.

El clima y la geografía imponen una serie de condiciones y plantean unos problemas que determinan tendencias y caracterizan estilos. Construir un albergue en las montañas suizas cubriéndolo con una terraza plana es tan absurdo como levantar un edificio en Andalucía con un agudo tejado de pizarra.

No solamente las características geográficas imponen una cierta orientación al arte de construir. También las necesidades generales y primarias del país hacen que el desarrollo de la técnica se polarice en un determinado sentido.

España es un país fundamentalmente seco y montañoso. La escasez de agua ha transformado en estériles estepas extensas zonas del territorio nacional.

El regadío constituye una fuente de riqueza. En pocos años, un valle antes desértico se convierte en fértil mediante una red de acequias y canales.

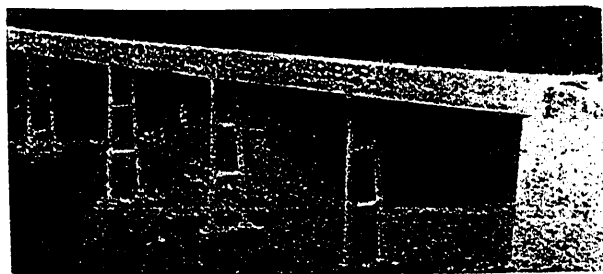


Figura 1.ª

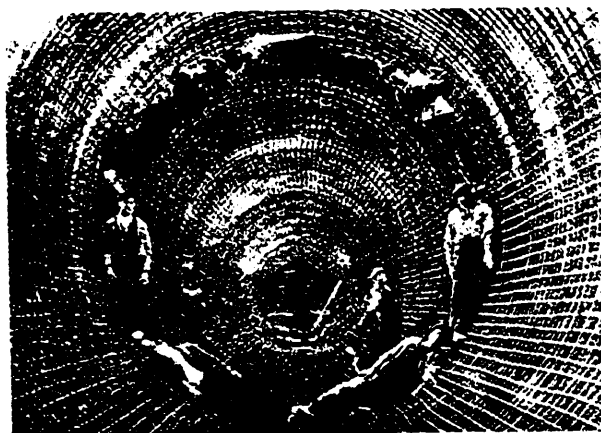


Figura 2.ª

Las lluvias son, frecuentemente, torrenciales, y los ríos, tremendamente irregulares, presentan variaciones en su caudal en la relación de 1 a 10 000.

Las presas tienen que disponerse con unos desproporcionados aliviaderos. Las cimbras de los puentes siempre están amenazadas por una crecida extraordinaria. Los servicios hidráulicos de regulación y distribución constituyen uno de los departamentos de mayor importancia en el Ministerio de Obras Públicas.

Como lógica consecuencia de estas características, los canales, los acueductos y los sifones, constituyen las primeras obras de hormigón armado que se construyen en España. Es en el año 1898 cuando Ribera termina el acueducto del Araxes (fig. 1.ª), de 12 metros de luz.

Ribera y Zafra son los primeros propulsores de la naciente técnica. El primero representa el tipo de Ingeniero intuitivo, capaz de realizar, con sus extraordinarias facultades intelectuales, las obras más atrevidas y revolucionarias. Zafra es el teórico, el hom-

bre dotado de un singular espíritu analítico. Profundo conocedor de la mecánica y del cálculo, construyó poco. Su actividad fecunda se centra en la enseñanza y en el estudio de la Elasticidad y de las estructuras hiperestáticas.

Uno y otro, desde ángulos bien distintos, promovieron entre los ingenieros españoles la afición por el entonces nuevo material. Con sus caracteres opuestos, ambos completan la escuela de los conocimientos teóricos y constructivos sobre la cual quedará cimentado todo el posterior desarrollo del hormigón armado en España.

Gracias a estas dos ilustres figuras, bastaron sólo unos años para pasar de las tímidas realizaciones que caracterizan los comienzos de una era, a las concepciones atrevidas. El sifón de Albelda (fig. 2.^a), cuyo concurso se convocó en el año 1903, tiene unas dimensiones (4 m. de diámetro) que hoy mismo son considerables. El de Sosa, con 3,80 m. de diámetro, 1 018 m. de longitud y 28 m. de presión, se terminó de ejecutar alrededor del año 1906.

Estas obras, auténticos prototipos, son la cuna en donde nacen las provechosas enseñanzas que más tarde cristalizarían en los sifones invertidos del Guadalete (fig. 3.^a), proyectados por González Quijano, en el acueducto de Tardienta (Peña), figura 4.^a, y en los de Tempull y Allos (Torroja), que más adelante se comentarán.

Simultáneamente, es decir, en esa primera década del siglo xx, se desarrolla en España la técnica del hormigón armado aplicada a los puentes. El de María Cristina, en San Sebastián (fig. 5.^a), construi-

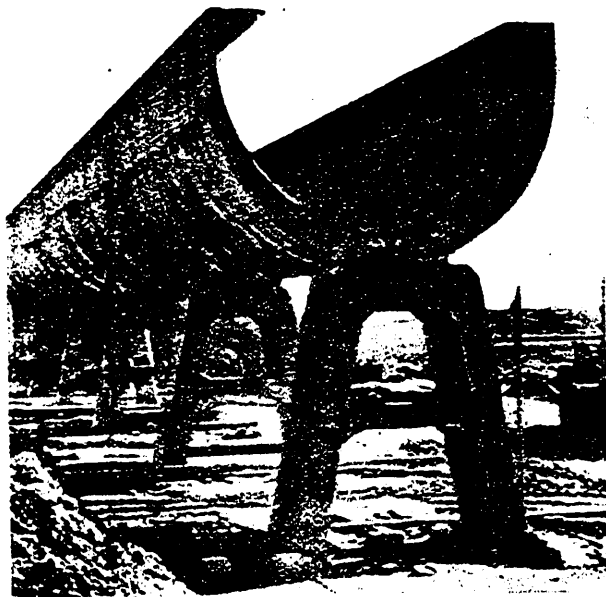


Figura 4.^a

do en el año 1904, constituye la más clara representación del espíritu y primeras orientaciones de una nueva técnica que invade el campo de la construcción con el noble ímpetu de la juventud.

El puente está constituido por tres bóvedas de hormigón armado de 24 m. de luz y 1:11 de rebajamiento.



Figura 3.^a



Figura 5.ª

La decoración es afiligranada. La docilidad del hormigón a las formas caprichosas impidió sentir el estilo propio del nuevo material. Era mucho pedir una transformación simultánea de técnica y de arte arquitectónico, cuando estaban en boga los barrocos capiteles de fundición y se tallaba la piedra con profusión de molduras.

Ribera y el arquitecto J. Zapata, autores del proyecto de este puente, no pueden liberarse del espíritu grandilocuente de la España del 1900. La debilidad humana de "aparentar riqueza", tan representativa de aquella época de transición entre los siglos XIX y XX, hace que el hormigón se oculte, tímido y avergonzado, tras un chapado de piedra artificial. Los estribos y las pilas, las bóvedas y las impostas, los pretilos y los obeliscos, imitan los aparejos y despieces de los puentes de piedra. Aún es pronto para desafiar con atrevimiento la repulsa de una crítica no educada para asimilar la severa tosquedad de los paramentos de hormigón.

La armadura de las bóvedas está formada por angulares arriostrados entre sí. La rigidez propia de esta estructura metálica, permite a Ribera hormigonar los arcos, por roscas, con ayuda de unas cimbras muy ligeras.

El éxito obtenido fué tan arrollador que inmediatamente se construyen otros puentes de este mismo tipo. Pocos años después, el Ministerio de Obras Públicas aprueba una colección oficial de esta clase de puentes. En esta colección Ribera introduce dos notables modificaciones: los tímpanos son aligerados y dos arcos gemelos sustituyen la bóveda de la solución inicial (fig. 6.ª).

La difusión de estos tipos de puentes es extraordinaria. Una y otra vez Ribera los emplea con notable acierto. La perfección técnica y constructiva de la solución se adapta maravillosamente a las características del suelo español. Los valles no muy abiertos de cauce permiten situar el tablero sobre el arco. La cimentación, generalmente buena, admite la económica disposición hiperestática de los arcos empotrados. La armadura rígida suprime la construcción de cimbras en unos ríos habitualmente torrenciales. El peligro de las irregulares y rápidas crecidas queda eliminado.

Tanto Ribera como Melán reclaman para sí el

honor de la prioridad en la concepción de este tipo de puentes. Sea como fuese, es indudable que la profusión de realizaciones, su adaptación a las condiciones geográficas y el acierto con que se repitieron por doquier, hacen que la solución pueda considerarse como típicamente española.

En este período del 1900 al 1920, los ingenieros no consideran la participación del tablero y de los tímpanos en el trabajo de flexión del arco. En esta época, menos vacilante de lo que en un principio cabe esperar, los pórticos que forman los montantes de los tímpanos con los largueros y el tablero, se suponen rigidamente empotrados en los arcos.

Para Ribera el arco es el elemento fundamental de la estructura: la pieza sobre la cual descansa el tablero. Sus puentes son, funcionalmente, opuestos a los de arco ligero y tablero rígido.

Esta segunda solución, repetidamente empleada en el resto de Europa, no prosperó en España. Nuevamente la geografía impone y sanciona determinadas tendencias de la técnica. Los puentes de tablero rígido no resultan apropiados a nuestro país. Su construcción es inadecuada a nuestros ríos y barrancos. En España, donde a una sequía prolongada sucede un régimen de intensas lluvias, donde los bosques son escasos y reducidos, los ríos presentan unas avenidas que, en menos de una semana, vierten más agua que el resto de los días del año.

En los puentes de tablero rígido y arco ligero, la cimbra debe mantenerse desde el principio hasta el final de la obra. Durante tan largo período, la obra está pendiente de una crecida, a menos que se construya una costosa cimbra capaz de desafiar la furia impetuosa de un río desbordado.

Los tramos rectos de hormigón armado comienzan a construirse unos años después. Desde los principios del siglo XX y allí donde las cimentaciones no permiten la construcción de arcos empotrados, los tramos rectos de hormigón sustituyen a las vigas metálicas de alma llena.

En el año 1907 se termina el primero de la serie. Se trata de un puente de vigas trianguladas proyectado por Zafrá para el ferrocarril suburbano de Má-

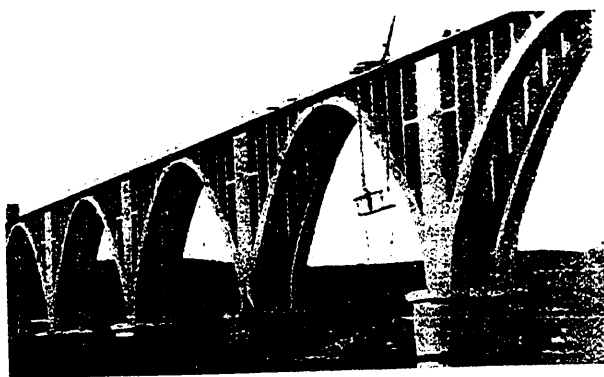


Figura 6.ª

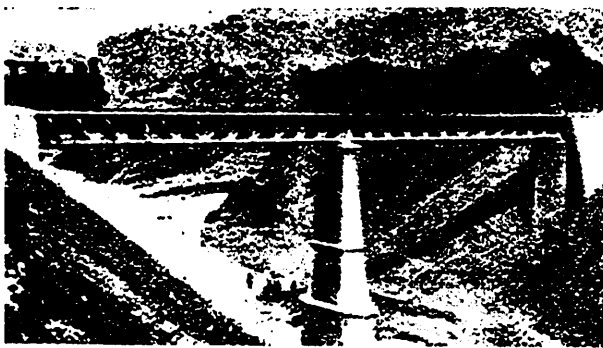


Figura 7.ª

laga (fig. 7.ª). Simultáneamente, Ribera construye otros tramos rectos isostáticos de sección en π .

Los puentes de Zafra constituyen una vieja reminiscencia de las soluciones metálicas. Los tramos de Ribera apenas se diferencian, en ligeros detalles, de los que en la actualidad se proyectan.

Zafra y Ribera constituyen dos símbolos. El primero es un profundo conocedor de la técnica del hormigón armado. Gracias a sus publicaciones, los ingenieros españoles siguieron la corriente universal. Sus clases, comenzadas el año 1910 en la Escuela de Ingenieros de Caminos, formaron las promociones que años después desarrollarían con ímpetu las entonces incipientes doctrinas.

Ribera es el ingeniero dotado de una singular intuición creadora. Su técnica está simultáneamente orientada en el sentido de una máxima facilidad de construcción y una máxima economía en el conjunto de la obra.

Ribera aprovecha el tablero, elemento o forjado, de unión de las vigas longitudinales, como cabeza de compresión de los tramos. Esta disposición es tan racional que difícilmente se concibe que, hoy en día, pueda nuestra técnica llegar a una solución más apropiada al tipo de trabajo del hormigón.

Una de las características típicas de estos tramos rectos es la sustitución de los estribos por dos muros de acompañamiento, situados en el mismo plano longitudinal que los nervios o vigas principales. El tablero continúa hasta encontrar el terraplén.

Estos muros de acompañamiento son muy económicos y ligeros. El terraplén de acceso se vierte a uno y otro lado de los muros, con lo que desaparecen los empujes del terreno.

Los primeros puentes en tramo recto fueron siempre exteriormente isostáticos. Las vigas continuas y los tramos porticados tardaron unos años en llegar a España.

La razón de este retraso parece que tiene su origen más en el éxito arrollador de los puentes en arco con armadura rígida que en su discutible economía.

Los tramos rectos hiperestáticos presentan una indudable economía de material, especialmente en ar-

maduras. El árez general del diagrama de momentos flectores es menor en este caso que en el de vigas simplemente apoyadas. La solución hiperestática es más elegante y perfecta que la isostática.

Por el contrario, la solución isostática presenta la gran ventaja de su facilidad de construcción. La cimbra se repite en uno y otro tramo, ya que pueden descimbrarse independientemente. El volumen de madera necesaria es mínimo y el riesgo de una irresistible crecida sólo afecta al tramo en construcción.

Todo este conjunto de consideraciones ha motivado una general prevención hacia las soluciones hiperestáticas y una preferencia marcada hacia el isostatismo de los tramos. Las vigas continuas y los tramos porticados sólo se han empleado con cimentaciones resistentes y cuando la altura de la rasante es demasiado baja para poder construir una viga isostática en condiciones económicamente aceptables.

Una particularidad interesante de esta época de formación es el desprecio de los ingenieros españoles hacia la creciente intranquilidad europea respecto al comportamiento del hormigón armado en los puentes ferroviarios. Durante muchos años se ha sostenido la tesis de que las vibraciones producidas por el paso de los trenes llegaría a destruir la adherencia, produciéndose una auténtica separación del hormigón alrededor de las armaduras. Esta preocupación no la debieron sentir los técnicos españoles de principios del siglo xx, ya que los primeros tramos rectos construidos en aquella época se destinaron a líneas ferroviarias.

Los puentes construidos por Zafra en la primera década de este siglo no dieron un resultado satisfactorio. El fracaso no es imputable, sin embargo, a las sobrecargas de los trenes. Las armaduras principales estaban formadas por anchas platabandas. Esta disposición es la que pronto fatigó la adherencia entre los dos materiales.

La Historia ha constituido siempre una fuente de experiencia. Su estudio, una provechosa lección para los años venideros. Los técnicos españoles bien pronto aprendieron la necesidad de rodear los perfiles laminados con zunchos de alambre para impedir, en lo posible, la fisuración del hormigón alrededor de la barra, cuya sección conviene sea lo más compacta posible. Cuidando estos detalles y adoptando precauciones especiales para evitar el pandeo de las

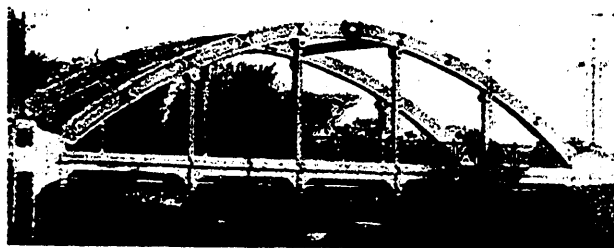


Figura 8.ª

armaduras comprimidas en el interior del hormigón y procurar una apropiada transmisión de esfuerzos de uno a otro material, especialmente en los nudos, el comportamiento de la estructura metálica dentro del hormigón parece perfecta y la colaboración y trabajo conjunto completamente satisfactorios.

El éxito obtenido por los puentes en arco con armadura rígida y el relativo fracaso de los tramos triangulados hizo que este último tipo se mirase con natural pero injusta prevención. Tal vez sea ésta la causa por la cual sean poco frecuentes en España las vigas Vierendeel, tan extendidas en otros países. Su complicado encofrado eleva el coste de esta solución, especialmente en aquellos países que, como España, no tienen una gran riqueza forestal.

Una fecha sobresaliente en la historia de los puentes españoles es el año 1912. En este año se inaugura el puente del Iruela, el primer puente de hormigón armado con articulaciones.

El puente del Iruela (fig. 8.^a), de tablero inferior, está formado por dos arcos parabólicos triarticulados, de 25,60 m. de luz entre rótulas de arranques y 5,10 m. de flecha. Los dos arcos gemelos dejan un ancho libre de 7 m., de los que 4,90 m. son para la calzada y los 2,10 m. restantes para los dos andenes, de 1,05 m. de anchura.

Aún faltan diez años para que comiencen a emplearse en España las rótulas plásticas, y así. Rebollo, el ingeniero autor del proyecto, adopta la solución de disponer las articulaciones mediante placas de fundición y rótulas de acero.

Apenas han transcurrido ocho años desde que se terminó el puente de María Cristina y ya los ingenieros españoles han asimilado la técnica del hormigón armado en sus manifestaciones de sifones, acueductos, arcos empotrados, tramos rectos y arcos articulados. Con el correr de los años, las líneas se estilizan, el hormigón armado adquiere estilo propio y las luces de los puentes aumentan sin cesar, desplazando las soluciones metálicas.

Así se llega hasta el año 1926, en que aparece una solución propia ya del futuro "hormigón pretensado".

Con motivo de la conducción de agua para el abastecimiento de la ciudad de Jerez de la Frontera, la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles debía construir un acueducto sobre el río Guadalete, en Tempul.



Figura 9.ª



Figura 10.

El tramo central del acueducto (fig. 9.^a), tenía una luz de 57 m. Con el fin de economizar armadura, el tramo central se dispuso colgado de las pilas mediante cables, que hubieron de tesar para compensar los grandes alargamientos de los cordones metálicos bajo la carga.

Para tesar los cables, Torroja dispuso la cabeza, o parte superior de la pila, separada del resto, y de tal modo, que pudiera trasladarse verticalmente. Las armaduras verticales de la pila pasaban entubadas y los cables suspensores del tramo se apoyaban sobre la cabeza móvil de la pila. Pasado el mes de endurecimiento de los tramos, se levantaron las cabezas, mediante gatos hidráulicos, tesándose los cables. Enclavados los gatos, se hormigonó la junta y se revisitaron los cables.

La lucha por el agua, característica fundamental de nuestro clima, impulsa a la técnica, forzándola a la conquista de soluciones más perfectas.

El año 1930 registra la realización de un tipo de puente que también puede considerarse de origen español. Es el puente del Narcea (fig. 10), cuyo tablero intermedio está situado entre dos arcos gemelos de 42 m. de luz, empotrados en los arranques, y con una articulación en clave.

La elegancia de la solución no está reñida con la economía. Vierendeel coincide con Sánchez del Río, el ingeniero autor de este proyecto, en que las soluciones de arcos monoarticulados pueden ser más económicas que las restantes. Por razones poco explicables, no se ha hecho ningún estudio detallado de las posibilidades económicas de esta solución, ni han sido analizadas las ventajas e inconvenientes que presenta.

Los arcos atirantados, biarticulados, con tablero inferior, se han empleado en España para salvar luces importantes, en valles abiertos, con cimentación poco estable. El número de ejemplos desarrollados no mantiene la proporción de otros países más llanos.

Tal vez la variante más característica de estos



Figura 11.

tramos es el sistema propuesto por Torroja para poner en tensión el tirante.

La construcción del arco comienza por el montaje de una autocimbra del tipo que pudiera llamarse Ribera, es decir, una cimbra metálica que después quedará como armadura longitudinal del arco. Este arco metálico presenta una rótula en clave y queda unido, desde el principio, al tirante definitivo.

La natural flexibilidad del tirante hace que el arco funcione como triarticulado, equilibrándose el empuje horizontal con la tensión del tirante.

A medida que se hormigona el arco, el tirante entra en carga automáticamente. La articulación de clave se mantiene hasta el final de la obra. De los pendolones se cuelgan las viguetas y sobre ellas se hormigona el forjado, dejando siempre el tirante al descubierto para que siga tomando su carga. Finalmente se hormigona el tirante, se cierra la rótula de clave y el arco, que para el peso propio funcionó como triarticulado con tirante, pasa a ser biarticulado para resistir las sobrecargas. Con el fin de obtener una más armoniosa distribución de momentos a lo largo de la directriz, la rótula de clave de la cimbra metálica se sitúa con una apropiada excentricidad respecto a la directriz del arco de hormigón.

A partir del año 1930 es Torroja el que con sus realizaciones, plenas de originalidad y acierto, impulsa con vertiginoso ritmo la técnica, ya en pleno desarrollo.

Los puentes de Posadas y de Tordera (fig. 11)



Figura 12.

representan la inquietud de su carácter. Uno y otro fueron realizados en estructura mixta de hormigón armado y acero, con luces de 43, 45 y 54 m. Un tablero de hormigón armado, constituye la cabeza de compresión. Un nervio inferior, en forma de arco parabólico invertido, el cordón metálico de tracción. Para evitar los costosos arriostramientos transversales, estos arcos invertidos están unidos al tablero mediante diagonales en V (fig. 12).

En el año 1942 y en colaboración con los ingenieros Martín Gil, Villalba y Salazar, Torroja termina el viaducto sobre el embalse del Esla (fig. 13), cuyo arco central, con sus 209 m., salva el embalse de la presa de Ricobayo. Este arco, de hormigón armado, con armadura rígida a lo Ribera, fué durante unos años el arco de hormigón mayor del mundo, siendo actualmente el segundo en su género. Nuevamente los ingenieros españoles recurren a las cimbras metálicas, que luego pasarán a ser armaduras, como el medio más eficaz para construir los arcos que atraviesan nuestros valles abruptos. Los cuarenta años

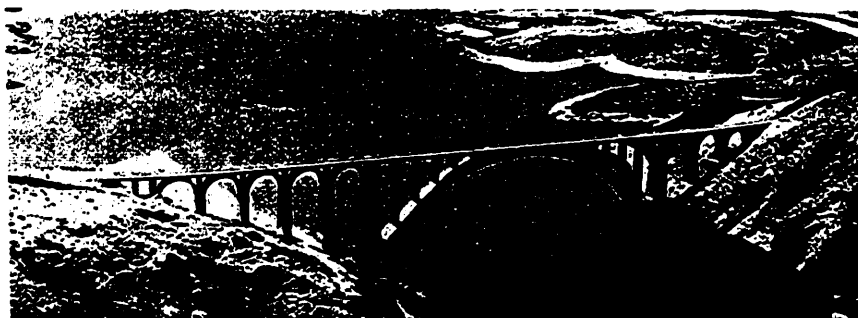


Figura 13.

que van del puente de María Cristina al viaducto del Esla simbolizan todo un proceso evolutivo de la técnica del hormigón armado en España, así como la huella imborrable de unos sistemas constructivos que,

por las soluciones metálicas. El hormigón, libre de molduras y juntas, simulando despieces de cantería, presenta al exterior la severa belleza de sus formas.

Es la conquista de la tercera dimensión. De la

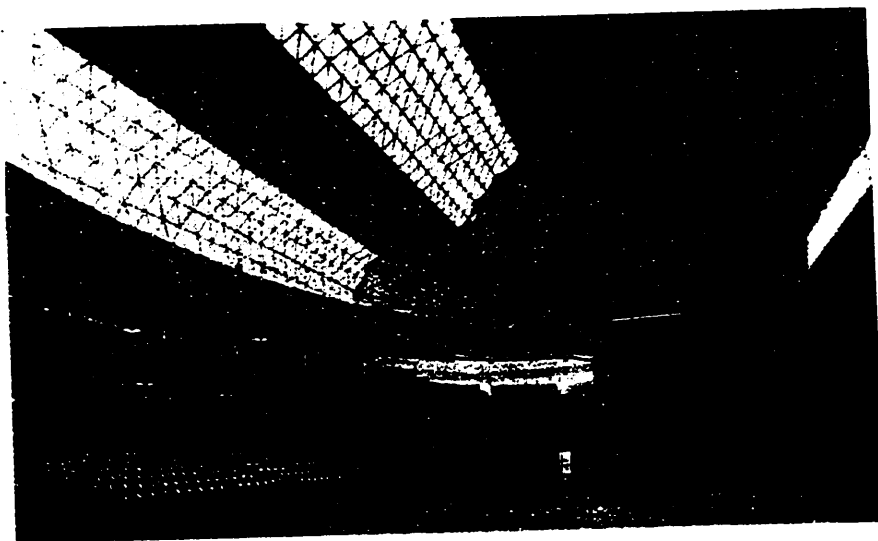


Figura 14.

por su profunda raigambre, merecen calificarse como de típicamente españoles. Han bastado cuarenta años para pasar de una luz de 20 m. a una luz de más de 200 m.

Sin embargo, es en el difícil campo de las estructuras laminares donde Torroja desarrolla los más bellos ejemplos de su personalísimo estilo. El frontón Recoletos (fig. 14), el mercado de Algeciras y el hipódromo de la Zarzuela (fig. 15), son tres brillantes soluciones a tres problemas diferentes. En ellas la estructura se acopla a las necesidades de un modo funcional.

El hormigón ha logrado crear un estilo propio. El artista ya no está cohibido por la herencia legada

cercha metálica contenida en un plano se ha pasado a la lámina espacial. Los esfuerzos no están canalizados en una barra. Las tensiones se extienden por una superficie.

La perfección estética lograda en el mercado de Algeciras (1934) (fig. 16) radica en su desnuda sinceridad. Sin recubrimientos de mármoles ni adornos, sin concesión alguna a lo superfluo, Torroja expresa, en hormigón, las ecuaciones del equilibrio tridimensional.

Un tirante a modo de friso enlaza las cabezas de los soportes. Unos lunetos bordean la cúpula, imprimiendo al conjunto un sello de equilibrada armonía.

Uno y otro elemento son dos aciertos técnicos. El pretensado, introducido en el primero, amortigua las fuertes tensiones que de otro modo se producirían. Los lunetos no son más que una afortunada so-



Figura 15.



Figura 16.



Figura 17.

lución para eliminar la apretada concentración de tensiones que, sin ellos, aparecerían en la unión de la cúpula con los soportes.

Para muchos tratadistas y críticos de arte, el hipódromo de la Zarzuela, en Madrid (1935), representa el exponente de un nuevo estilo nacido al calor de una técnica: de un nuevo arte, que busca la compensación de los esfuerzos en la equilibrada distribución de las masas.

En este hipódromo (fig. 15) las formas resistentes se acusan exteriormente con el vigor del Discóbolo. Como en el mercado de Algeciras, Torroja deja que el hormigón muestre la sobriedad de sus paramentos sin cuidar. La belleza de la estructura se basa en la sola armonía de sus formas. Siempre ha sido el desnudo el símbolo supremo del arte.

Catorce años después de la maniobra de pretensado del acueducto de Tempul, Torroja proyecta el acueducto de Allos. La esbeltez de las líneas del acueducto, el original dispositivo, para tesar los cables y la lograda distribución de esfuerzos gracias al doble pretensado introducido, hace que la solución constituya un acierto más y un magnífico ejemplo de las posibilidades del hormigón pretensado.

Como en Tempul, Torroja vuelve a emplear cables como armadura longitudinal. La solución está impuesta por razones de mercado. Aún faltan unos años para que la industria siderúrgica española comience la fabricación de aceros especiales para hormigón pretensado, con los cuales se construirán, años más tarde los puentes de San Celoni (fig. 17) (proyecto de los ingenieros López Bustos y Ugalde) y Almarail (fig. 18) (proyectado por Pérez), así como el silo para cemento, de Barcelona (fig. 19).

* * *

La enumeración de las obras citadas refleja, con bastante aproximación, la evolución de la técnica del hormigón armado en España. No obstante, y como resumen de este desarrollo, parece indicado dibujar,

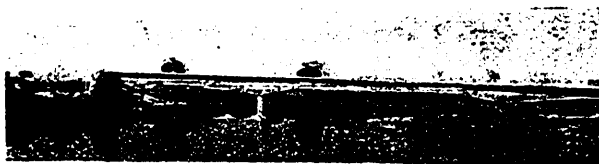


Figura 18.

en líneas generales, el proceso analítico de las tendencias marcadas en cada época.

Como ya se ha indicado, fué Zafra el precursor de la técnica en materia científica. En 1905 comienzan sus publicaciones sobre el nuevo material, y en 1910 inaugura su cátedra en la Escuela de Ingenieros de Caminos.

A Zafra le sucedió Peña, ya en el año 1923, fecha en la cual se intensifica el conocimiento de la técnica con los estudios elásticos sobre los hormigones y el planteamiento de los problemas de adherencia, anclajes de las armaduras, etc.

En aquella época, el hormigón estaba considerado como un cuerpo perfectamente elástico y en el cual las deformaciones eran proporcionales a las tensiones. Las estructuras hiperestáticas se calculaban con arreglo al método de las masas elásticas.

Por aquellas fechas se publica la colección oficial de puentes de hormigón armado, redactada por los profesores Zafra y Peña. El éxito obtenido por esta colección para los puentes carreteros contrasta con los recelos que la Administración de Ferrocarriles opuso a la construcción de esos puentes. Fué necesario realizar numerosos ensayos y esperar largo tiempo, para comprobar el estado satisfactorio de los

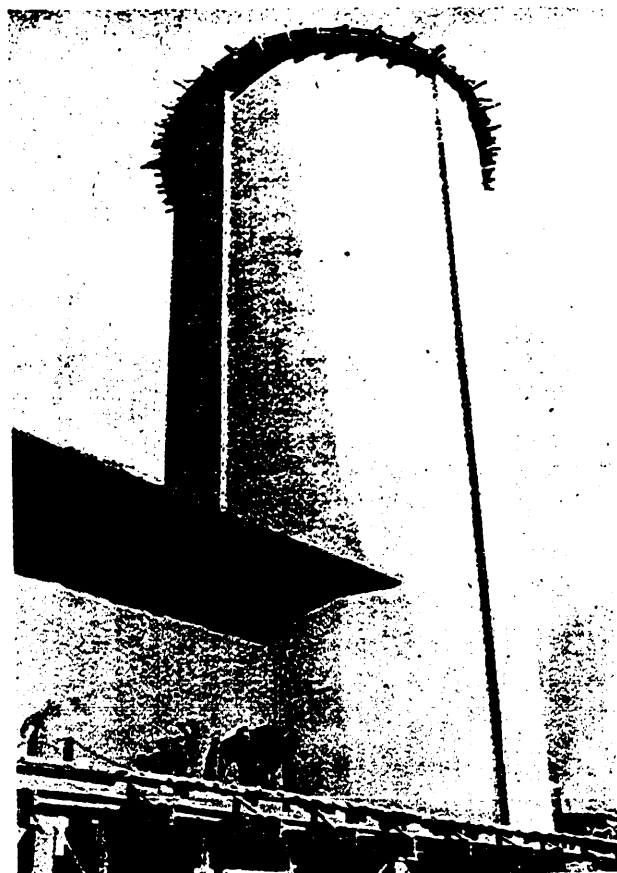


Figura 19.

puentes en servicio y la falta de fundamento de las ideas que se tenían sobre una prematura separación de las armaduras a causa de las vibraciones producidas por el paso de los trenes.

Terminada la guerra civil española, se inicia un período de intensa reconstrucción. Torroja sucede a Peña en la cátedra de hormigón armado; Fernández Casado difunde, con sus publicaciones, el método de Cross y redacta una colección de puentes de altura estricta.

El Laboratorio Central de Ensayos de Materiales, de Madrid, amplía sus instalaciones, y junto con el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento emprenden la labor de penetrar en el complejo campo de la investigación.

El hormigón ya no se considera como un sólido consecuente con la ley de Hooke. Los métodos clásicos de comprobación de secciones, basados en el criterio de las tensiones admisibles, ceden terreno ante las nuevas teorías del cálculo en rotura.

Torroja desarrolla una teoría basada en una distribución parabólica de tensiones en el hormigón, y las fórmulas prácticas que deduce son asequibles a un rápido dimensionamiento de las secciones. Las piezas de hormigón pretensado se calculan también bajo las sollicitaciones límites de agotamiento, sin perder de vista, como es natural, las limitaciones impuestas por las condiciones de fisuración.

El criterio de las tensiones admisibles se abandona paulatinamente. Los coeficientes de seguridad elásticos o nominales se rechazan por inadecuados para representar el margen disponible de seguridad.

El Instituto Técnico de la Construcción emprende los estudios destinados a calcular el valor de los coeficientes de seguridad apropiados al hormigón y

a la armadura, al tiempo que ensaya nuevos métodos para deducir unas fórmulas prácticas basadas en el comportamiento reológico del hormigón armado.

La historia no es el simple relato de hechos pasados. El pretérito, por haber ocurrido, ya no tiene posibilidad de enmienda. La Historia es algo más. Es una fuente de provechosas enseñanzas. Es la experiencia condensada en el amargo fracaso de unos y en la feliz intuición de otros.

No es justo rendir tributo solamente a aquellos que triunfaron. Muchas veces el progreso se asienta en el ácido escarmiento de un desastre.

Una catástrofe, como la del tercer depósito de Madrid, deja una huella indeleble. Su trágico recuerdo enseña que un descuido en la ejecución puede ocasionar esfuerzos considerables. El cálculo sólo contesta cuando le preguntan, pero, demasiado discreto, no advierte la conveniencia de comprobar una determinada condición de precaria estabilidad.

En cincuenta años se ha desarrollado, pujante, una técnica que, al fin, ha adquirido una personalidad indiscutible y un estilo propio. En cincuenta años, el hormigón ha alcanzado su mayoría de edad con brillantes realizaciones, totalmente emancipadas de las soluciones clásicas de otros materiales.

Para seguir avanzando será preciso observar el comportamiento del material en el transcurso del tiempo, su fatiga, sus deformaciones y su durabilidad. Después de cincuenta años, aún desconocemos la eficacia de la protección del hormigón a las armaduras.

Para acelerar el paso del tiempo, intentamos sondear el futuro mediante costosos ensayos dinámicos, no siempre muy representativos. Es el pretérito el mejor laboratorio de ensayos a largo plazo.

Los técnicos debemos estudiar Historia.