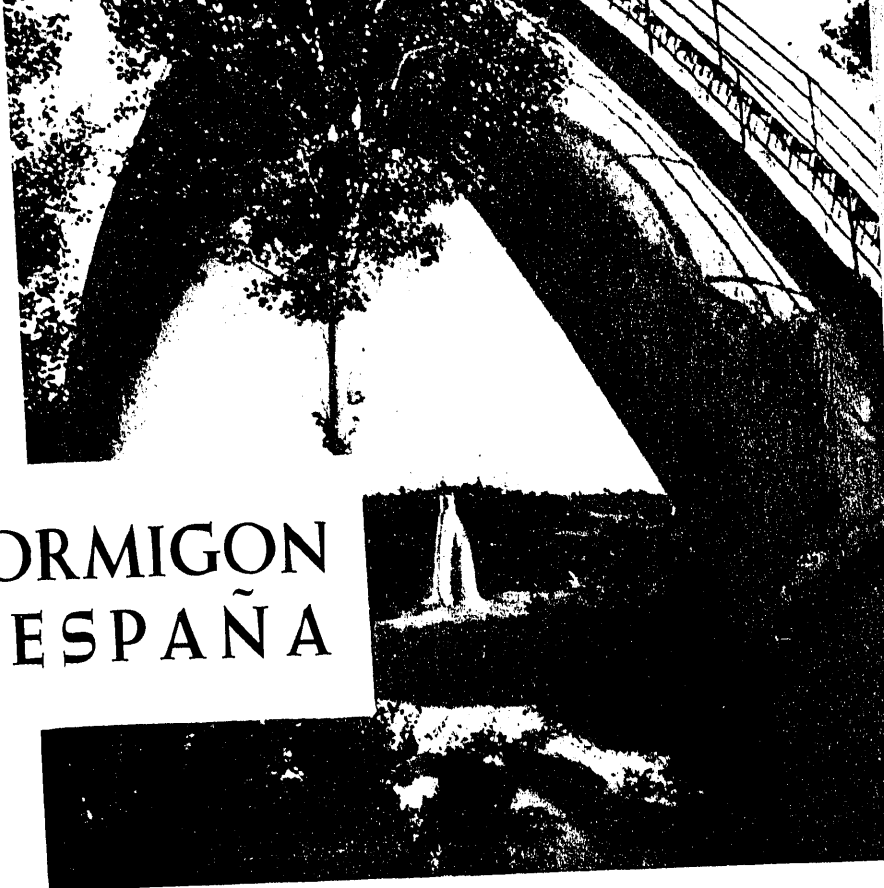




UN SIGLO DE HORMIGÓN ARMADO EN ESPAÑA

Por ALFONSO PEÑA BÆUF
Ingeniero de Caminos.

Nada más indicado, a nuestro juicio, como recuerdo y homenaje a nuestro querido compañero Alfonso Peña, que reproducir de entre los muchos e interesantes trabajos que publicó en nuestra Revista, el que damos a continuación, que le encargamos para el número dedicado al centenario de nuestra publicación, y que con tanta autoridad como competencia escribió en aquella ocasión, haciendo una reseña tan completa de esa especialidad en la que, como en tantas otras, puso de manifiesto su talento ingenieril y de la que deja tan brillantes muestras para perpetuar su memoria.

Los ensayos en el siglo pasado.

En este centenario de publicación que cumple ahora la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS está encajado con mucho margen el desarrollo que ha tenido el hormigón armado hasta alcanzar el brillante estado en que ahora se encuentra. Y decimos que este período de tiempo envuelve con mucho margen dicha evolución porque hasta principios del siglo actual no puede considerarse su técnica como un cuerpo de doctrina de estabilidad científica, aunque tuviera anteriormente algunas felices aplicaciones. En el pasado siglo no es sólo privativo de nuestra Patria el desarrollo incipiente de este material heterogéneo, pues en el extranjero, si bien había sido un poco más avanzado, sólo pasó en realidad de lo que pudiéramos llamar balbuceos en esta técnica.

Es bien sabido que los primeros pasos fueron dados por Lambot y Monier, en Francia, en los años 1848 y 50; pero en realidad sus producciones eran objeto de curiosidad: el primero, con su barca presentada en la Exposición Universal de París en 1855, y el segundo, con las cajas de flores y jarrones para decoración de jardines.

Las patentes de Monier son posteriores, pero con poca diferencia, y tienen el mérito de ser la base constructiva del porvenir.

Poco después y casi en el mismo período de tiempo aparecen en los Estados Unidos los ensayos de pisos hechos por Ward (1875), compuestos ya de vigas y viguetas armadas con perfiles metálicos anegados en hormigón y otros análogos presentados en ese país por Hyatt.

Simultáneamente, Wayss y Koënen, en Alemania, hacen experimentos en pisos y bóvedas, y los holandeses botan en los estuarios de los ríos

barcas ya grandes, de 11 y hasta 50 toneladas de carga, con perfiles armados por varillas colocadas en líneas estructurales muy parecidas en su posición a las piezas de los barcos de madera.

Sobre el año 1890 los Ingenieros austríacos forman una comisión para el estudio de bóvedas y pisos, con ilustre colaboración de Melan y Von Emperger. De la misma época de estos ensayos son los de Coignet con patentes para fabricar tubos de conducción de aguas y pisos prefabricados en un taller de Biarritz para edificaciones urbanas.

Hasta entonces los trabajos de hormigón armado eran realmente intuitivos y experimentales; tenían como base de cálculo la comparación con otros materiales y el sentido práctico del constructor, pero su técnica no estaba aún constituida.

Los primeros estudios racionales en esta materia fueron iniciados por Bauschinger y Bach

en Alemania, en los años 1894 y 95. En estos trabajos, tanto el primero como el otro de esos Ingenieros, publicaron una serie de experimentos realizados con probetas de hormigón en masa y con piezas dotadas de armaduras, en las que fijaron los coeficientes de elasticidad longitudinal de las piezas e introdujeron los conceptos de cuantías metálicas y relación de las deformaciones conjuntas.

Tres años después se inauguró el primer curso de Hormigón Armado, por Rabut, y en ese mismo año (1897) se publican los estudios experimentales de Considère.

Empieza entonces a funcionar la Comisión francesa con Resal y otros distinguidos miembros, y el ilustre Ritter, en Suiza, además de los austríacos y alemanes, estudian las bases del cálculo.

Todo esto se produce en los cinco años anteriores a la terminación del siglo XIX, y, por tanto, puede decirse que la primera etapa de formación, o sea el estado rudimentario del hormigón armado, abarca hasta el final del siglo.

En nuestra Patria no hay trabajos que puedan considerarse apreciables en el siglo pasado.

Hubo ciertos tanteos parecidos a los que se hacían en otras naciones, pero sin que tengan motivo para considerarlos verdaderamente precursores del inmenso campo que después iba a alcanzarse.

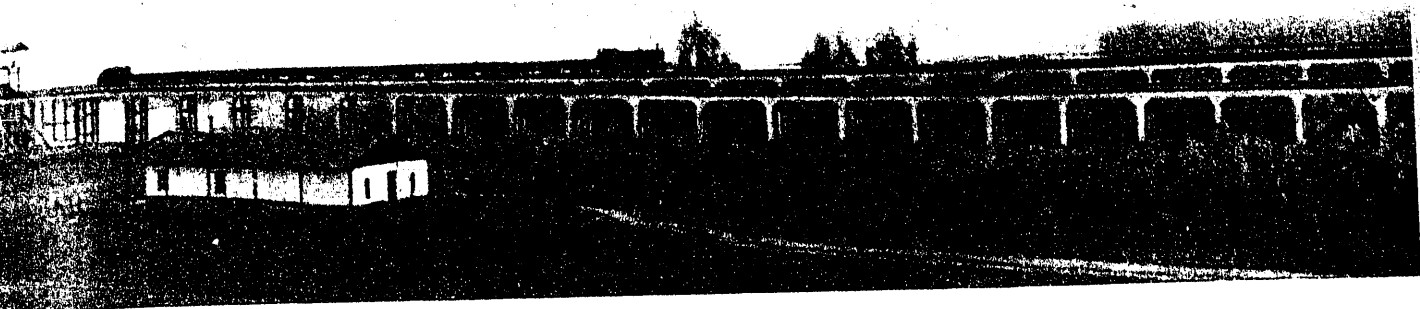
El desarrollo al comienzo de siglo.

Desde unos pocos años antes, y más concretamente desde 1896, hubo una verdadera explosión de avance en la técnica del hormigón armado. Precisamente en 1900, y con estudios del año anterior, publicaron muy interesantes trabajos los Profesores Ritter, en Suiza, y Von Thuille, en Alemania, en los que se echaron los cimientos de la técnica del hormigón armado. Se estableció en esas obras el régimen de cálculo a compresión y a flexión para piezas isostáticas, y simultáneamente Christophe, en Bélgica, dio las bases racionales ya en forma muy parecida y como iniciativa de las que hasta ahora vienen practicándose.

Empiezan en esos mismos años, en España, hacerse aplicaciones con piezas pequeñas. El Ingeniero de Caminos Nicolau propone tipos diferentes de traviesas para ferrocarril, ensayada por él en 1900, y los Ingenieros militares Úrci y Benítez comienzan a realizar construcciones



Canales del Guadalcacín (Cádiz). Acueducto de la Canaleja (González Quijano).



Embarcadero de las minas de Cala. (Zafra.)

on muros de hormigón en masa y pisos armados.

También desde el mismo principio de siglo desarrollan su actividad en este mismo género el arquitecto Jalvo y los principales propulsores en nuestra Patria: Ribera y Zafra. Estos dos ilustres Ingenieros de Caminos merecen especial mención.

Ribera era hombre mundano, de arrolladora simpatía y talento natural extraordinario. No era, ciertamente, hombre de ciencia; sabía lo suficiente para hacer cosas atrevidas y su gran intuición suplía otros conocimientos. Tenía audacia, valor personal y era hombre de empresa comercial.

Don Juan Manuel de Zafra era Ingeniero científico. Dominaba la mecánica y el cálculo y tenía un gran espíritu analítico. No era hombre de acción ni exponía con mucha claridad lo mucho que sabía, pero su formación era tan completa que podía reputarse como uno de los más destacados Ingenieros de la época.

Cada uno de estos dos hombres de tanto mérito realizó obras de hormigón armado desde comienzo de siglo y algunos años antes; pero aunque su carácter era muy distinto, los dos cooperan al honor patrio. Contienen en un concurso que el Estado y el Ayuntamiento de Madrid abrieron para cubierta del tercer depósito de agua de la capital, y por dar preferencia a la apreciación económica, se adjudica a Ribera.

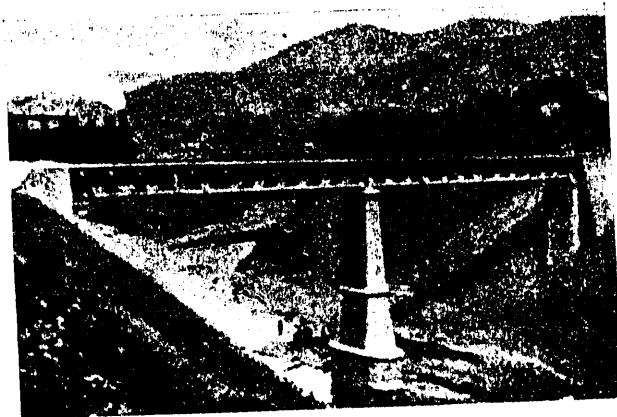
En otro concurso, convocado también en los primeros años del siglo, para construir embarcaderos de gran altura para minas en la provincia de Sevilla, vence Zafra enfrente de varias casas extranjeras, entre las que estaba Hennebique, que había sido el inspirador de Ribera, lanzándose poco después a la construcción de otros embarcaderos muy audaces entonces, y a los primeros puentes rectos de celosía, que realmente eran una gran novedad, y de los que hizo diferentes

modelos en el ferrocarril suburbano de Málaga.

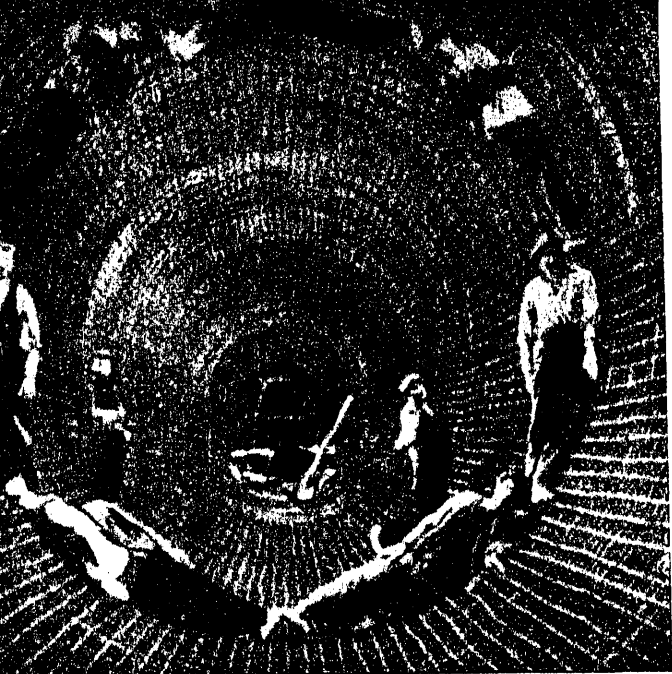
Ribera, que desde varios años antes de terminar el siglo había observado la experimentación que se hacía entonces en Francia, regresó a España como representante de Hennebique, tutela de la que se emancipó pronto, pues en los años rayanos con el comienzo de siglo hizo por su iniciativa obras tan importantes como las cimentaciones con cajones de hormigón armado, originales en su estructura, y los puentes de Valencia y Alfonso XIII, en el que venció en concurso a especialistas extranjeros que luego tuvieron el mayor renombre. A esas obras siguieron otras muchas en largo período de tiempo.

Zafra construyó poco. Después de esos éxitos de comienzo profesional en Sevilla, optó por el estudio científico de la Elasticidad, y primero con las aplicaciones entonces en boga sobre las estructuras hiperestáticas y simultáneamente con la técnica del hormigón armado, hizo una gran labor de enseñanza para todos los Ingenieros de la época.

Creó en 1910 la primera clase en España de la asignatura de Hormigón Armado en la Escuela



Puentes de los ferrocarriles suburbanos de Málaga. (Zafra.)



Sifón de Albelda. (Ribera.)

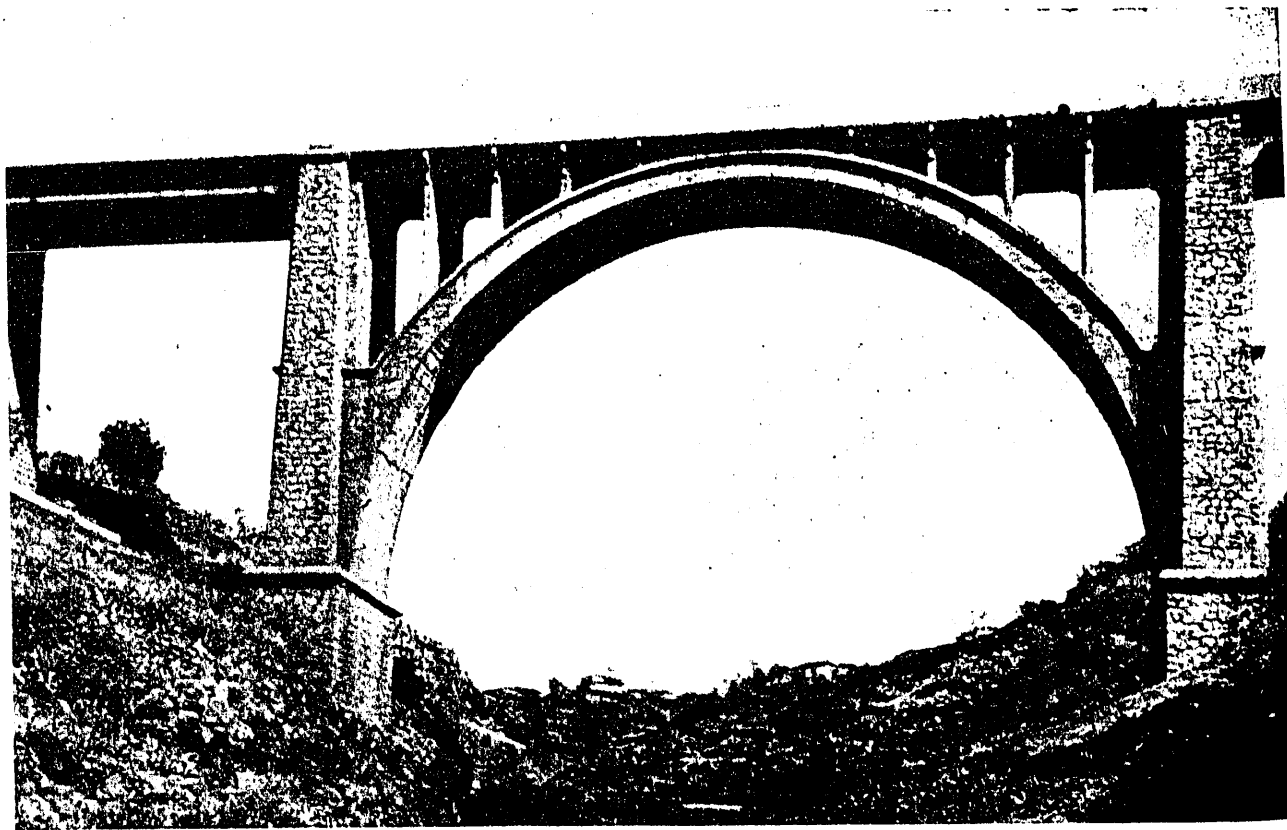
la de Caminos, y en ella siguió y en la Academia de Ciencias hasta su prematura muerte.

Estos dos hombres formaron escuela, pues tanto Ribera, por su acometividad constructiva

comercial, en la que aprendieron muchos colegas, como Zafra, por su doctrinal enseñanza, fueron en realidad los impulsores de esta técnica en España.

Muy rápidamente se despertó entre los Ingenieros españoles el entusiasmo por el nuevo material, aunque es preciso consignar que al principio tuvo muchos detractores, porque los fracasos de algunos inconscientes produjeron, como es natural, un recelo que formaba freno a las excesivas audacias.

Aunque hoy día, por las inmensas aplicaciones que desde aquella época se han hecho en todas las construcciones, sea muy del dominio de casi todos los técnicos la aplicación del hormigón armado, es necesario consignar que su estudio y puesta en obra no es tan trivial como los demás materiales constructivos, y entonces, que no habían sido divulgadas, ni siquiera debidamente experimentadas las teorías de cargas tangenciales y de adherencia, que tanta importancia tienen en este material heterogéneo, no es de extrañar que los simplemente aficionados incurrieran en muchos errores naturales... y hasta necesarios para el progreso.



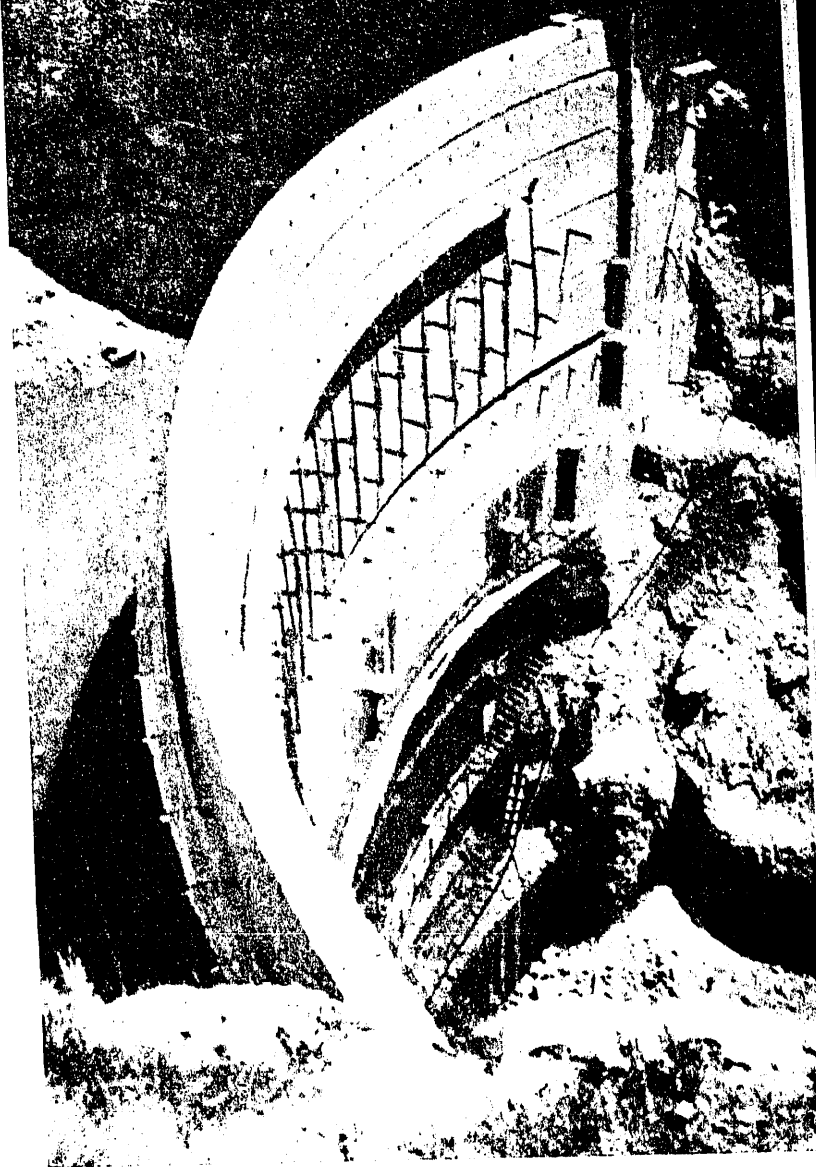
Puente de Alfonso XIII. (Ribera.)

Realmente, hacer obras atrevidas y de gran porte, entonces que el estudio racional era tan poco conocido, representaba una intuición y hasta una sensibilidad del proceso mecánico que es bien digno de admirar.

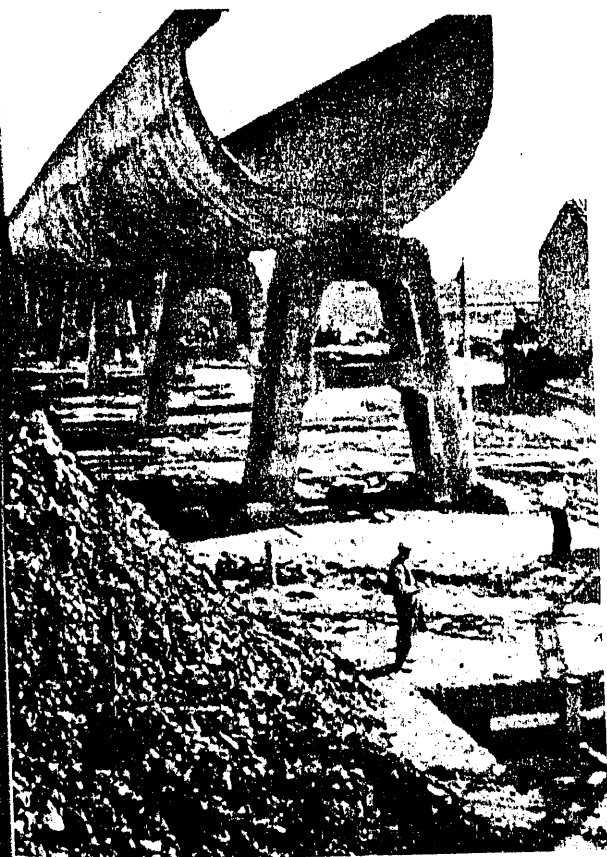
Así, la construcción de los sifones de Albel-da y de Sosa, que Ribera, con la colaboración de Luña, acometió en los años posteriores al 1903, con unas dimensiones que hoy mismo son considerables, lo mismo que las obras de puentes del Lucus y de Valencia, son ejemplos que por su estructura y por la originalidad de disposiciones pueden considerarse en vanguardia de la técnica.

La gran expansión se empezó a producir en España después del año 1915, porque en rigor lo anterior, al comienzo del siglo, fueron pruebas de peligrosa audacia, y hasta los primeros años después de la década, ni el estudio era racional ni la técnica de confección del hormigón presentaba caracteres de firmeza.

La feliz asociación de la piedra artificial con el metal ferroso para constituir ese sólido heterogéneo de facultades mucho más homogéneas de



Presas de anillos. (Peña Boeuf.)

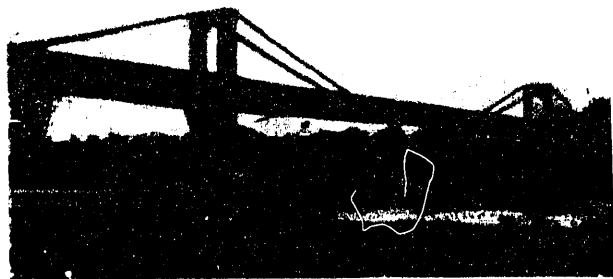


Acueducto de Tardienta. (Peña Boeuf.)

lo que al principio se creyera, necesitaba, evidentemente, un conocimiento físico de los dos materiales y de la naturaleza íntima de su yuxtaposición.

Y hasta principios de este siglo ni una ni otra cosa habían sido investigadas.

Cuando en los años de 1905 y unos pocos anteriores se destapó en España el entusiasmo por las grandes obras hidráulicas, como consecuencia de la entonces naciente "política hidráulica", varios concesionarios solicitaron y obtuvieron la autorización de realizar grandes embalses, entre los que descollaban los de Tremp y Camarasa, en el Pirineo catalán, y el propio Estado comenzó en esa época otra serie de grandes obras que bien largamente han sido diferidas.



Acueducto de Fanjul, con tirantes pretensados. (E. Torroja.)

Ya sonaban entonces esas cifras de 100 metros de altura, y algunas más, para las presas principales, porque nosotros, los españoles, cuando nos decidimos a desarrollar las cosas no vamos por pasos medrados, sino que más bien propendemos al salto de gigante.

Así, las dos presas citadas eran de la mayor importancia mundial, y si los canadienses, como concesionarios, enviaron un Ingeniero muy distinguido, Mr. Billings, como supervisor, que actuó muy inteligentemente durante todo el período constructivo, los que en la técnica de la puesta en obra lucharon cotidianamente fueron unos españoles de más mérito que el que corresponde al escaso recuerdo a ellos dedicado.

. . .

Aunque hoy día parezca extraño, por ser tan del dominio público el conocimiento que ahora se tiene de los materiales aglomerantes y sus piedras artificiales, lo cierto es que entonces resultaban los hormigones muy arbitrariamente, por su rudimentario estudio experimental bastante deficiente.

La fuente de inspiración eran los estudios y publicaciones de Feret, y las que se daban a conocer como cosa muy nueva en las revistas, sobre las compacidades producidas por los cribados de áridos de la serie americana de Tyler y los trabajos de Abrams; pero la verdadera dosificación como hoy día se hace no era conocida, por cuanto que los estudios de Füller, Graf, Bolomey y demás Ingenieros especialistas estaban entonces en el período de formación, pues sus autores no habían aún publicado tan interesantes y definitivas conclusiones.

Hasta más allá del Congreso de Zürich no fueron tomadas como definitivas esas leyes de compacidad y resistencia.

Muy trabajosa fue la experimentación que se hizo en Zaragoza, hecha en la misma obra, por la División Hidráulica del Ebro, que tenía la inspección de esos aprovechamientos, y fueron muy copiosos los ensayos practicados en el Laboratorio Central de Caminos.

Gracias a estos datos experimentales, en cinco años se contribuyó en alto grado no sólo a realizar las obras de un modo muy satisfactorio, sino que incluso se obtuvo el más favorable comentario que en América del Norte hicieran las revistas sobre la importante cuestión de la dosificación para grandes presas.

La REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS tiene interesante aportación a este respecto por los artículos muy reveladores en aquella época, entre los que el de Núñez Casquete merece, por su antigüedad y precisión, singular comentario.

Bien decíamos en párrafos anteriores que en España (y con no mucha diferencia en el resto del mundo) el progreso integral del hormigón es cosa de este siglo, pues, efectivamente, en 1900 empezó a fabricar cemento la primera industria del portland con la Sociedad Tudela Veguín como vanguardista; y como pasa siempre en el desarrollo industrial, los ejemplos se multiplican inmediatamente; así, en el transcurso de sólo tres años estaban también funcionando los de Rezola, "Asland y Olazagutia". Más lentamente fueron surgiendo todas las demás, pero en un proceso bastante rápido, pues en período anterior al cuarto de siglo estaban en marcha una gran parte de las ahora existentes.

En los veinticinco primeros años del siglo fue realmente un estrepitoso avance el que se produjo en todos los aspectos de la construcción con cementos artificiales.

Todos los demás aglomerantes fueron produciéndose más o menos radicalmente, y en la práctica les fueron encontrados defectos que antes no se apreciaban.

A medida que la industria progresaba, creciendo mejor y molturando más finamente, las virtudes se exaltaban, y tal era la esperanza en el porvenir, que parecía llegada la solución o forma de panacea.

Pero nada hay absolutamente perfecto en vida, y pronto se vio que si las aguas del mar, las cargadas de sales, además de las ácidas, atacaban las antiguas cales por muy hidráulicas que fuesen, también atacaban a los cementos, y que muchos hormigones sometidos a estos efectos se descomponían con bastante rapidez.

El gran incremento que en esos primeros cincuenta años del siglo tuvieron las obras hidráulicas con la formación de los planes hidráulicos del Estado para riegos, y las primeras Em presas hidroeléctricas de carácter privado que entonces empezaron con auge, obligó a estudiar la composición de los morteros y hormigones, comprendiendo la enorme importancia de su compatibilidad a los efectos de estabilidad física y resistencia mecánica, poniendo en juego, a esos efectos, los pequeños laboratorios de las obras y las Centrales de la Escuela de Caminos y de Ingenieros del Ejército.

El distinguido Director del puerto de Gijón, Eduardo de Castro, que había proyectado algunas estructuras de hormigón armado en el mar, y que vio los efectos que en algunos hormigones en masa producía el contacto con el agua marina, y sobre todo la alternancia de las mareas, fue uno de los primeros Ingenieros que dedicó a esta materia especial atención, siguiendo muy de cerca lo que en el extranjero se hacía.

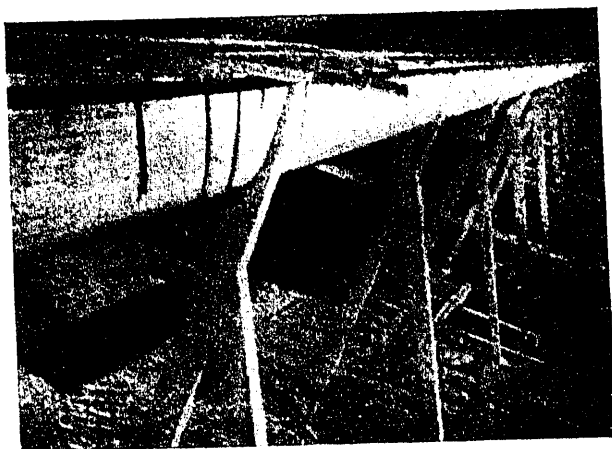
Los italianos eran entonces los que más habían experimentado sobre composición de hormigones que pudieran ser inalterables por las aguas del mar, y la secular tradición que tenían los artifices en el empleo de las puzolanas naturales orientó el problema en ese sentido.

Después de visitar varios puertos italianos del Mediterráneo y los del Atlántico, empezó Castro en el puerto gijonés larga experimentación *in situ* en los años 1914 al 21, y luego, cuando ya estaba yo como Ingeniero operador en la Escuela de Caminos, continuamos en colaboración durante los años 21 al 30.

No sólo estudiamos la acción de las aguas marinas, pues además de ellas pudimos precatarnos que, sobre todo en España, donde hay muchos terrenos cuya composición tiene sales de calcio y magnesio, por la sola acción de contacto con los terrenos se descomponen los hormigones corrientes y, desde luego, los antiguos de cal, bastando, a veces, pequeñas filtraciones para que la alteración sea total en la masa.

A estos efectos, por lo que afecta a las aguas del mar, hicimos unas largas series de probetas con puzolanas naturales y artificiales de distintas procedencias, que se sometieron en una gran parte de los puertos españoles a la acción directa y de carrera de marea, además de las que directamente llevamos en el Laboratorio Central.

En aquellos años en que la cuestión estaba latente, no sólo se realizó un largo estudio sobre



Acueducto de Alloz, en hormigón pretensado (1940).
(E. Torroja.)

las aguas marítimas, sino que además extendimos la acción a las aguas agresivas terrestres procedentes de terrenos cargados de sales nocivas.

Muy interesantes fueron las conclusiones que publicamos en aquella época sobre las aguas seleníticas de los Monegros, en el alto Aragón, y las grandemente corrosivas de los ríos Tinto y Odiel, con ensayos muy elocuentes que realizamos sobre los mismos cauces.

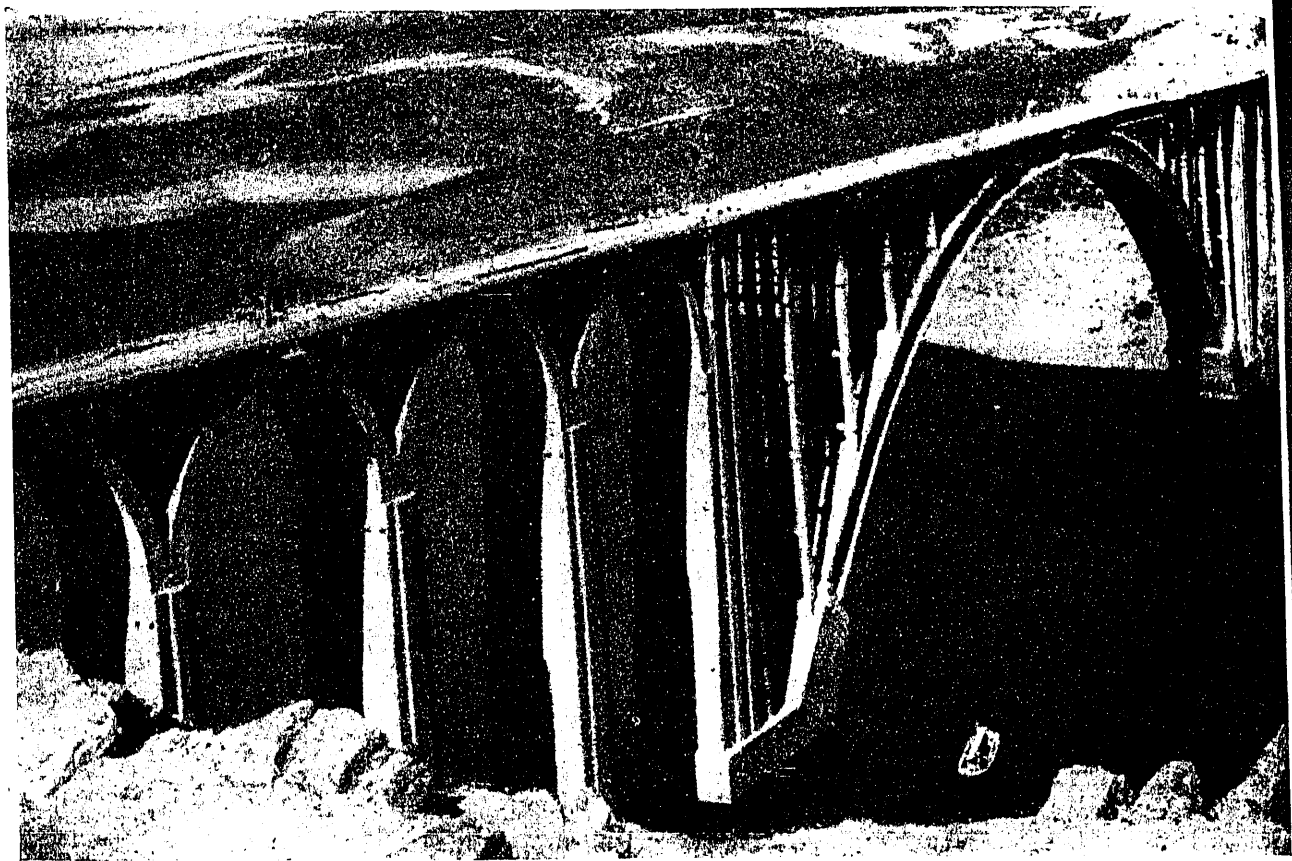
Claro es que hoy día es muy conocido todo esto, porque desde aquella época (años 1913 al 1930) en que trabajamos sobre esta cuestión ha sido tal el progreso en todas partes, y la gran cantidad de libros publicados, sobre todo cuando fueron extendidas las leyes de Graf y de Bolomey, que actualmente ya se sabe sobre la composición de hormigones todo cuanto puede apetecerse.

Pero, entonces, no; pues las ideas sobre la interesante cuestión de la compatibilidad eran todavía muy poco concretas; pero todos esos estudios sirvieron de base a lo que después se sancionó.

En realidad, sobre el estudio de composición y dosificación de morteros y hormigones hay una gran labor hecha en España en el primer cuarto de siglo, y nuestra presencia en varios Congresos de Francia, Italia, Bélgica y Suiza nos hicieron comprender que la técnica española no iba a la zaga de la que ya era entonces marcha rápida en todas las naciones europeas. Precisamente, como comprobación experimental de los estudios de Graf y Bolomey, son muy de estimar las aportaciones publicadas en esta misma Revista.

• • •

Además del conocimiento del material en lo que afecta a su formación para constituir la pie-



Viaducto del Esla. (Martín Gil, Jacobson, Peña Boenfi, Torroja y Salazar.)

dra artificial, era también indispensable su determinación física para construir científicamente.

No bastaba realizar ensayos para las dosificaciones racionales, pues era además preciso que las propiedades físicas de su empleo fueran conocidas.

Hasta los últimos años del siglo pasado esta cuestión era recetaria. Las patentes que se expedían sólo contenían unas reglas prácticas de dimensiones y armados, sugeridas de modo más intuitivo que experimental.

Como dijimos antes, la primera enseñanza teórica y técnica se hace en Francia por Rabut, y por Christophe y Bach en Bélgica y Alemania, respectivamente; todos ellos en los últimos años del siglo pasado y comienzos del presente.

En España, desde 1905, empieza Zafra a publicar los cálculos del hormigón armado en las revistas técnicas, y en 1910 inaugura su cátedra en la Escuela de Caminos, que regentó durante trece años solamente, pues la muerte prematura, muy poco después de cumplir los cincuenta años, privó a España de un gran investigador y hombre de ciencia. Tuve la honra de sucederle, dan-

do a la cátedra durante otros trece años el doble carácter de cálculo de las estructuras elásticas y técnica del hormigón armado propiamente tal.

Desde el punto de vista doctrinal, tanto en la parte del cálculo racional desarrollado en la cátedra como en la intensificación que desde aquellos años adquirieron los laboratorios, el progreso que se dio al conocimiento del hormigón en masa y armado, en España, marca una marcha perfectamente concordante en las naciones más adelantadas.

Los estudios elásticos sobre los hormigones, las adherencias y anclajes de las armaduras, las leyes de variación de las que al principio se trataban como constantes físicas y las complicadas cuestiones de las cargas tangenciales y de torsión y pandeo fueron objeto de estudio.

Al llegar al año 1936 hubo, como es natural, un período de corte en estas actividades, como en todas las demás de España, pues sólo la Guerra de Liberación ocupaba la atención de los buenos españoles. Ya desde varios meses antes de producirse el Alzamiento Nacional la actividad era muy escasa, pues las barbaridades co-

ente Popular y los continuos conflictos socia-
enrarezcan el ambiente. En rigor, fue en la
historia una solución de continuidad que duró
is de cuatro años.

Pero, afortunadamente, con la victoria vino
renacimiento de todas las actividades, y la
esta en marcha del Plan General de Obras
blicas redactado durante la guerra en el Mi-
sterio de este nombre y la Instrucción de obras
e hormigón redactada también en ese mismo
lorioso período fueron los documentos de ma-
or importancia que coadyuvaron al más rápido
mpulso de las obras de hormigón.

Ocupado muy activamente en estas agobian-
es cuestiones políticas del Ministerio, dejé la cá-
edra en las buenas manos de D. Eduardo To-
roja, y cuando, por cesar, al cabo de casi ocho
años, en el Gobierno de España, volví a la Es-
uela, por ese desmedido entusiasmo que los Pro-
esores tenemos, convinimos en dejar dividida la
primera cátedra, desdoblándola en dos partes:
estructuras y hormigón, que, de común acuerdo,
nos distribuimos entre Torroja y yo.

• • •

No sería posible, desde el punto de vista de
extensión material, hacer en este artículo una re-
visión de las muchas obras de hormigón armado
que durante el presente siglo se han hecho en Es-
paña, pues por ser tantas y tan copiosas en todos
los aspectos, constituirían una enojosa e inútil
relación. Sólo aquello que forma parte evolutiva
debe consignarse, y a ese efecto destacamos lo
que pudiera tomarse como verdaderamente ejem-
plar.

Como documentación doctrinal, no podemos
menos de citar las publicaciones oficiales de las
colecciones de puentes que tanto éxito han pro-
ducido por su difusión en obras del Estado y
también en algunas particulares.

Una primera colección conteniendo modelos
de puentes para caminos vecinales fue redacta-
da por Zafra y por mí en los años 18 al 20.

La colección contenía modelos completos
con planos detallados y despiece de las barras
en la cubicación total, y era aplicable para tipos
que variaban desde las losas de 1 a 5 m. hasta
los de vigas rectas continuas de 25 m., y luego
las de celosía hasta 36 y 40 m.

Tal fue el requerimiento que se hizo de esta
colección, que en pocos años llegó a agotarse la
publicación oficial hecha por el Ministerio.

Para que sirviera de eficaz ayuda a todos los
Servicios de Obras Públicas, se consideró nece-
sario ampliar su destino a carreteras y ferroca-
riles.

Es curioso hacer constar que pareció enton-
ces un poco audaz esta última aplicación, pues
en los años, no muy lejanos aún, de la primera
veintena del siglo los puentes de ferrocarril es-
taban proscritos para las aplicaciones del hor-
migón armado ¡por temor de que sus vibracio-
nes alteraran la situación de los armados!

Y fue necesario que, tanto en España como
en el extranjero, se invocaran multitud de ensa-
yos hechos al efecto, contrariando tan peregrina
idea, para que en las administraciones de ferro-
carriles se adoptara su aplicación sin reserva a
los puentes y construcciones en régimen vibra-
torio.

Magníficas colecciones de proyectos de puen-
tes han sido redactadas después de aquella pri-
mera por dos Comisiones que, presididas, res-
pectivamente, por Ribera y por Zafra, tenían en
su composición Ingenieros tan distinguidos co-
mo González Gutiérrez, Hidalgo, Barcala y
otros.

La rápida muerte de Zafra hizo que fuera yo
el encargado de presidir su Comisión, a la que
ya pertenecía.

Es indudable que estas copiosas colecciones
impulsaron en muchos casos la gran cantidad de
aplicaciones prácticas que los Servicios de Obras
Públicas hicieron en construcciones de este gé-
nero, tanto en carretera como en ferrocarril.

Todos los Ingenieros españoles, y actualmen-
te también los Arquitectos, dominan esta técni-
ca, que se ha hecho de uso corriente en rápido
desarrollo de sólo cincuenta años; pero si nos
concretamos únicamente a citar obras singulares
por su significación progresiva, no debemos ol-
vidar, además de las que al principio exponía-
mos de aquellos maestros, las estructuras lami-
nares de Torroja, de original concepto; las ar-
ticuladas, ideadas por Sánchez del Río; los sifo-
nes del Guadalete, de González Quijano; nues-
tro acueducto de Tardienta, tan original como
discutido en su época; las presas de anillos, ya
hoy suficientemente experimentadas, y el gran
viaducto del Esla, que hace poco era el mayor
arco del mundo, y que, con un proyecto previo
muy estimable de nuestro malogrado compañero
Martín Gil, fue en su construcción modificado
por la contrata de Max Jacobson y llevado a la
práctica en una primera parte anterior a nues-

tra guerra, en la que me honraron con el nombramiento de asesor, y que, ya liberado el territorio español, se prosiguió con rapidez y acierto por los Ingenieros Torroja y Salazar.

Es lástima que por esas dificultades económicas de poder encajar en presupuesto administrativo no pudiera haberse continuado la obra comenzada en el antiguo aeropuerto de Sevilla, del hangar para zeppelines, pues si hoy día no tendría ese anticuado destino, por haber variado las ideas sobre navegación aérea, sería de todos modos de gran utilidad para la industria y constituiría el cobertizo más importante de los hasta ahora construidos. Quedó la cimentación hecha, y los armados, hasta más de dos metros de altura, fueron objeto de la rapiña de los especuladores en la época republicana.

La moderna época del hormigón armado.

El gran conocimiento que hoy día se tiene en la técnica de este material heterogéneo hace que los Ingenieros afinen más en sus cálculos de resistencia para producir no sólo mayor economía en las estructuras, sino además mejor distribución interna de los esfuerzos.

A este fin, hay dos tendencias que están sobre el tapete y constituyen las orientaciones del porvenir: el pretensado y la plasticidad. Las dos modalidades son modernísimas, pero no tanto como la gente cree, si bien ninguna ha producido aún las conclusiones que permitan establecer un cuerpo de doctrina de grandes aplicaciones.

Sobre el pretensado se empezaron a realizar algunos ensayos en los años 1938 al 40 por Ingenieros alemanes, que trataron de aligerar y hacer flexibles unas vigetas para techumbres. El ilustre Freyssinet impulsó en Francia, con criterio original, la aplicación a varias estructuras, con notorio éxito, y también el Doctor Ingeniero Campus, de Bélgica, hizo publicaciones sobre esta materia, haciendo relación de unas primitivas viguetas de los alemanes encontradas en los vestigios de las fortificaciones de la guerra empezadas en el año 1941.

En todas las naciones se hacen hoy día piezas pretensadas de gran utilidad y que presentan las mejores ventajas desde el punto de vista elástico; pero queda mucho camino por recorrer aún, pues si desde el punto de vista de estructuras

isostáticas se está probando con todo acierto, multitud de piezas en serie, queda aún la aplicación en estructuras hiperestáticas, en las que surgen complicaciones de construcción no bien definidas y que requieren muy inteligente dirección en la obra.

En España hay numerosos talleres en los que se trabaja esta cuestión, como fabricación de viguetas; pero no hay que olvidar que la mano de obra tiene que estar mucho más especializada y los detalles de anclaje deben cuidarse con mucha gran atención.

La segunda modalidad para el progreso de las estructuras de hormigón armado tiene mayor campo de extensión todavía.

No hemos estado ausentes los españoles en este importante problema, pues antes de hacerse publicaciones doctrinales sobre la materia, desde el año 1931 publicamos la iniciativa de considerar el coeficiente de elasticidad del hormigón como variable, en lugar del concepto que desde la primitiva doctrina de cálculo le atribuía el carácter de parámetro físico.

Realmente es un estudio muy complicado el de la plasticidad de los cuerpos para poder llegar a formular ecuaciones que ligen de modo práctico las variables que entran en el proceso de la deformación en función de las causas y de la forma y naturaleza del cuerpo.

Conforme dijimos en el folleto que presentamos al Congreso de Lisboa en 1950, hay que empezar por eliminar la dificultad de forma, haciendo estructurar el cuerpo en elementos prismáticos, pues aun dentro de ellos la determinación analítica tiene suficientes complicaciones.

Estamos ahora en período de formación. Las publicaciones de Colometti, en Italia, y de Dutheil, en Francia, tienen gran interés, así como en nuestra Patria los estudios publicados muy recientemente por el distinguido Ingeniero Industrial Velasco de Pando; pero esta interesantísima extensión de la teoría del hormigón armado requiere aún un gran avance para el que, en rigor, no ha habido suficiente tiempo.

El hecho de que se hayan generalizado en estado plástico algunos teoremas, como los de Menabrea y Castigliano, así como la aplicación de la función potencial cuando pueda establecerse en esta forma continua, hace que el problema, todavía muy difícil y complicado, tome caracteres de poderse encauzar... Es, pues, con gran esperanza para el porvenir.