

INGENIERÍA VERSUS OBRAS PÚBLICAS EN EL PERIODO DE ENTREGUERRAS

ENGINEERING VERSUS PUBLIC WORKS IN THE PEACETIME PERIOD

MIGUEL AGUILÓ ALONSO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático de Estética de la Ingeniería. UPM. maguilo@grupoaes.com

RESUMEN: En una época políticamente difícil se suceden dos excelentes ministros del ramo, Rafael Benjumea e Indalecio Prieto, que ponen en práctica importantes iniciativas de organización administrativa y planificación. Además, a pesar del entorno económico marcado por el crack económico del 29 y la consiguiente depresión, se realizan una serie de obras maestras de la ingeniería civil, concentradas en muy pocos años. Sobre todo, el empleo del hormigón armado alcanza cotas de perfección en las obras de Maillart, Freyssinet y Torroja, y consagra definitivamente al hormigón como el material idóneo para la construcción. La influencia de la estética generada por estas grandes obras se extiende a la arquitectura, y consagra una nueva manera de afrontar el diseño de lo construido.

PALABRAS CLAVE: REFORMAS ADMINISTRATIVAS, PLANES DE OBRAS PÚBLICAS,
OBRAS DE HORMIGÓN ARMADO, ESTÉTICA DE LA INGENIERÍA

ABSTRACT: Two excellent ministers, Rafael Benjumea and Indalecio Prieto, held office in the sector during a time of political unrest and were responsible for the instigation of new forms of organizational, administrative and planning procedures. In spite of the economic environment arising from the financial crash of 1929 and the ensuing depression, a number of civil engineering masterpieces were completed within a very short space of time. Over this period the use of reinforced concrete was highly perfected in the works of Maillart, Freyssinet and Torroja and concrete was finally established as an extremely competent building material. The aesthetic influence generated by these great works was extended to architecture and served as a new means of tackling building design.

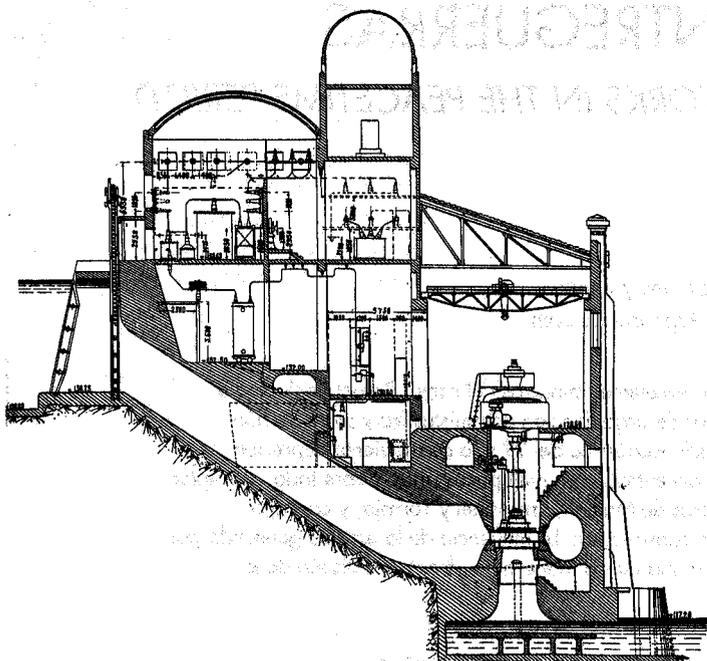
KEYWORDS: ADMINISTRATIVE REFORMS, PUBLIC WORKS PLANS,
REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS, ENGINEERING AESTHETICS

LOS DORADOS AÑOS VEINTE EN ESPAÑA

Cualquier crónica ortodoxa de las obras públicas españolas de este período comenzaría señalando que se trata de una época dorada. Fernando Sáenz Ridruejo no duda en denominarla 'segunda edad de oro de las Obras Públicas españolas', señalando de paso que la primera se produjo con el segundo gobierno de O'Donnell (1). Y continuaría señalando como protagonista del éxito a Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce, que ocupó el cargo de Ministro de Fomento desde diciembre de 1925 a enero de 1930.

En efecto, el Conde revolucionó la administración de las obras públicas. A los quince días de incorporarse reorganizó el Consejo Superior de Ferrocarriles y, una semana después, creó la Dirección General de ferrocarriles y tranvías. En febrero, sólo dos meses después, crea el Circuito de Firms Especiales.

En marzo de 1926, le toca el turno a las Confederaciones Hidrográficas, comenzando con la del Ebro, creada ese mismo día 5 junto con la institución. En junio es el Duero, en agosto el Segura, en septiembre el Guadalquivir. En marzo del siguiente año, estaba preparada la creación de la Confederación del Tajo, pero se retrasó, y creó la del Pi-



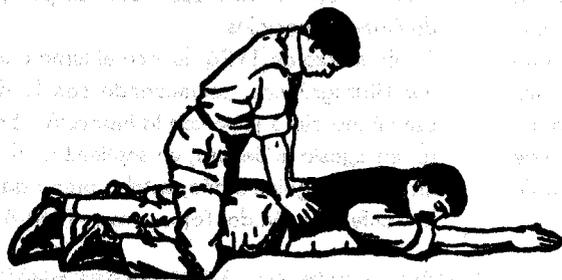
1923: Central de El Carpio.

rino Oriental. Poco después creó la Mancomunidad de Canales del Taibilla para el abastecimiento de Cartagena. En agosto se desbloqueó también la negociación para las concesiones de Saltos del Duero con el gobierno portugués, que se otorgarían en 1928.

En enero de ese año ya se había promulgado una ley de Puertos y poco después se creó el Consejo de la Energía. Se trata, sin duda, de una enorme actividad que resultó muy beneficiosa para las obras públicas y para el país en general.



1926: Tratamiento de los fulminados por líneas eléctricas. Resurrección de los electrocutados



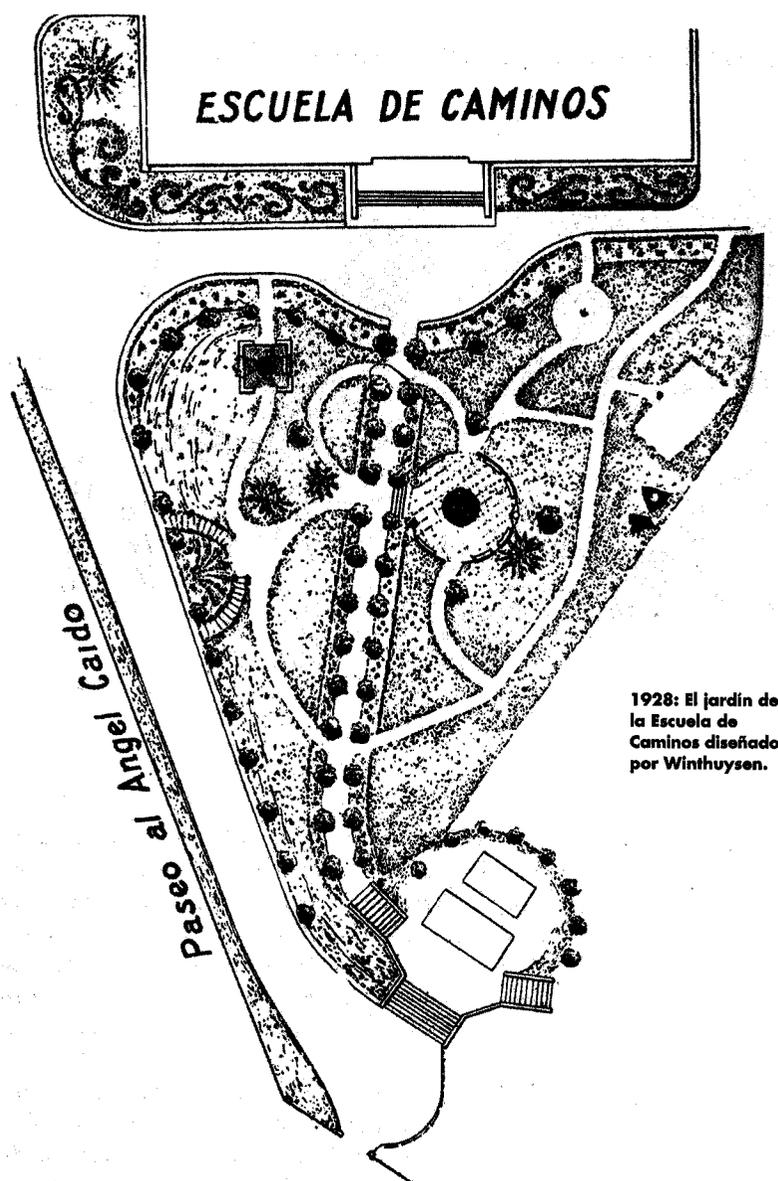
Sin embargo, para la ingeniería hidráulica es importante recordar al ingeniero Benjumea, aquel que pocos años antes fue capaz de levantar el importante complejo hidroeléctrico del Chorro que, con los años, acabaría integrando cinco presas, un gran depósito de bombeo y varias centrales hidroeléctricas. Allí, el flamante ingeniero de caminos supo poner en juego todas sus influencias personales y familiares para sacar adelante el Pantano del Chorro, pieza fundamental de regulación para que las centrales pudiesen producir energía de manera sostenida. La presa se terminó en 1921 y, con el éxito, Benjumea -ya conde de Guadalhorce- consiguió sacar adelante la nueva presa de Gaitanejo, situada aguas abajo de la primera, justo a la entrada del desfiladero de los Gaitanes, que se terminó en 1927, cuando ya el Conde había sido nombrado ministro.

También en aquellos años veinte y en Andalucía, es importante recordar a Carlos Mendoza y sus proyectos hidráulicos y energéticos en el Guadalquivir. Tras construir la presa de Mengibar (1916), en 1919 presentó un fantástico proyecto de Canalización y aprovechamientos de energía del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla, donde aprovechaba los 88 m de desnivel existente en los 170 km de longitud del tramo con once presas de entre 5 a 10 m de altura, provistas de esclusas y centrales.

Consiguió realizar las presas de El Carpio (1922) y de Alcalá del Río (1924) en el Guadalquivir, y posteriormente las de Encinarejo (1932) y Jándula (1932) en el Jándula, todas ellas con la colaboración del arquitecto Casto Fernández-Shaw y bajo la dirección de Antonio del Águila, obras de cuidado diseño y excelente realización.

Por su parte, el Circuito Nacional de Firms Especiales precisa también de una valoración crítica. Fue creado el 9.2.1926, por el alto interés nacional de fomentar el turismo, y para simultanear la seguridad con la grata impresión que supone abandonar la lucha secular contra los baches y el polvo. Con esta finalidad se acometió la mejora de peraltes y el afirmado de unos 7000 km de red, utilizando asfaltos, hormigones hidráulicos, adoquines, empedrados y alquitranes: todo un conjunto de técnicas que recibieron la denominación de *firms especiales*. Los más utilizados fueron las mezclas bituminosas, con las que se pavimentó un 75% de la superficie total del circuito.

Con estas reformas, se podía circular a una velocidad de unos 60 km/h, lo que supuso una mejora radical de las condiciones anteriores. Además, en 1928 se creó el Patronato Nacional de Turismo, para fomentar la construcción de paradores y albergues al lado de las carreteras del Circuito. Contaban con bar, restaurante, teléfono, botiquín y algunas habitaciones. Los primeros fueron los de Manzanares, Quintanar de la Orden, Almazán y Benicarló (2). El circuito fue muy bien recibido, con unánimes elo-



1928: El jardín de la Escuela de Caminos diseñado por Winthuysen.

gios. El propio Le Corbusier recorre el circuito Pirineos Orientales, Barcelona, Valencia, Alicante, Murcia, Almería, Málaga, Gibraltar, Sevilla, Madrid, San Sebastián, Pirineos Occidentales, y lo distingue como *la carretera más bella, a veces maravillosa*, y califica el acontecimiento de novedad esplendorosa (3).

El programa fue ejecutado rápida y eficazmente y debe ser considerado como un hito en la historia de las carreteras españolas. Sin embargo, la selección de carreteras a pavimentar produjo una red extraña o, por lo menos, cuestionable. Madrid, como ya sucedía en el XIX, sigue siendo el centro de la red, pero con un papel algo arbitrario. Por ejemplo, el proyecto de Circuito aprobado en 1926, presentaba un bucle cerrado en Galicia que unía León, Oviedo, Coruña, Pontevedra, Orense, León, dejan-

do aislado a Lugo y solo vinculado al resto del país por el tramo Oviedo-Santander. No estaba prevista la conexión con la meseta que, obligadamente, fue incorporada en 1929 por medio de un ramal Villacastín, Valladolid, León, que se prolonga luego en la diagonal Astorga, Piedrafita, Lugo. También se añade un ramal Salamanca, Zamora, Benavente, Astorga, para mejorar la conexión con el sur de Castilla y Extremadura.

Sorprende que estas conexiones, cuyo papel territorial es —y era— evidente, no hayan sido incorporadas al Circuito desde el principio, máxime cuando éste alcanza una red tan vasta y contiene trazados algo redundantes hacia Extremadura y hacia el País Valenciano. Las incorporaciones de 1929 no hacen sino recomponer el trazado romano, en su diagonal sureste-noroeste (posteriormente conocida como carretera de La Coruña, o A6) y en la parte norte de la Vía de la Plata, aunque siguió ausente el tramo Cáceres-Salamanca. Capitales de provincia como Huelva, Soria, Cuenca, Teruel o Ciudad Real, quedaron solo conectadas por las antiguas carreteras de macadam como anticipo del tradicional olvido que hoy denuncian.

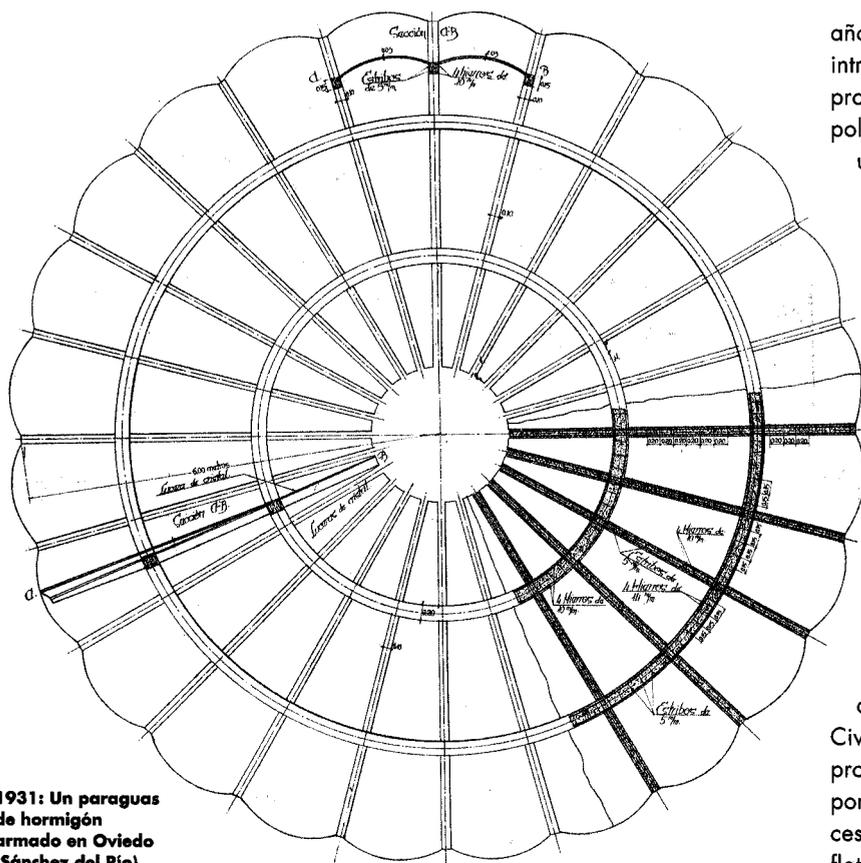
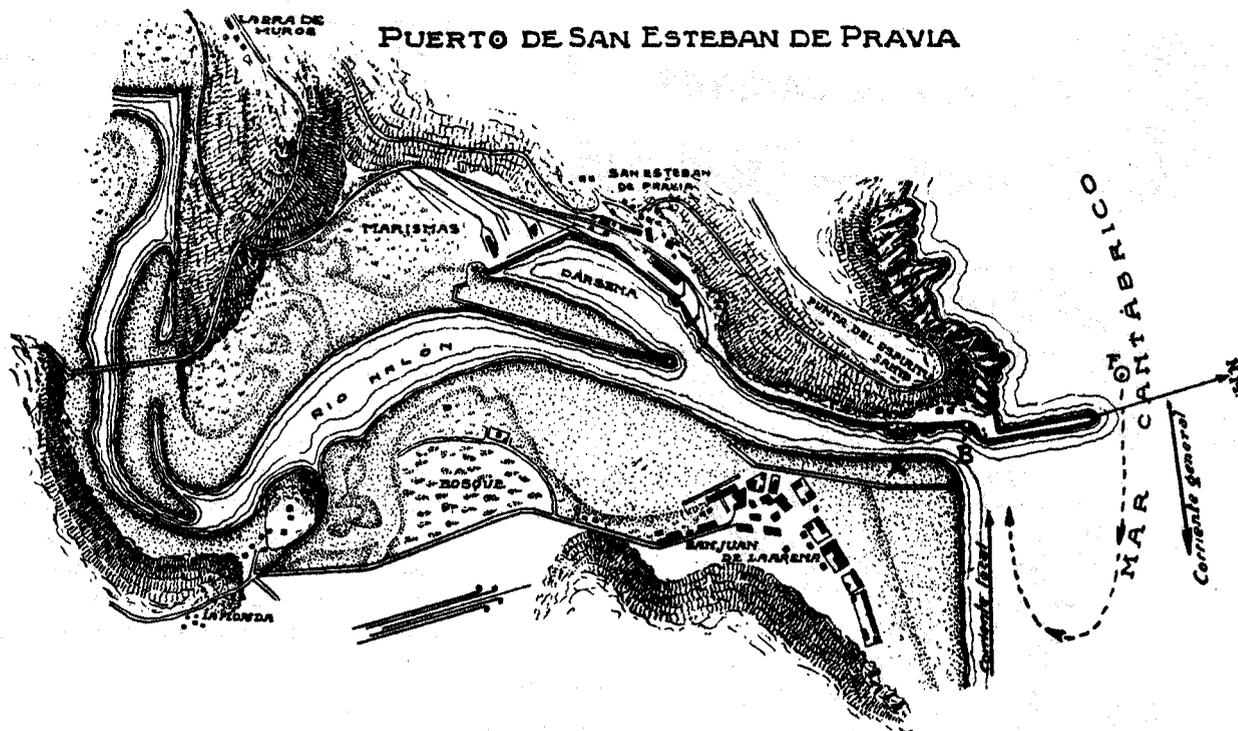
LA DIFÍCIL DÉCADA DE LOS TREINTA

El eco del lejano crack del 29 casi no es percibido en España, aunque sus efectos son enseguida notorios. En enero de 1930 cesa Benjumea, quien parte como exiliado hacia Buenos Aires en 1931, y comienza una nueva etapa administrativa que adquiere algo de fuelle con la llegada de Indalecio Prieto al flamante Ministerio de Obras Públicas en diciembre de 1931. Como primera consecuencia, todos los servicios aumentan de rango y son creadas las direcciones generales de las distintas ramas, carreteras, obras hidráulicas, ferrocarriles, tal como hoy las conocemos.

De forma muy práctica, Prieto reconoce nada más llegar: *en carreteras se ha hecho bastante y en ferrocarriles demasiado*, por lo que decide orientar sus prioridades hacia las obras hidráulicas y a la ordenación urbana, con una visión que hoy sería calificada como territorial. La alegría en la ejecución de los años anteriores, es sucedida —como suele ser habitual— por una visión más planificadora, propia de una época con menos recursos económicos que se ve obligada a utilizar mejor el cerebro. Surgen así dos iniciativas de poca entidad financiera pero de gran repercusión para el país y sus ciudades. Se trata de Las Comisiones de Enlaces Ferroviarios y del Gabinete de Accesos y Extrarradio.

La recomposición de la difícil herencia ferroviaria, de concesionarios con escasa voluntad de ofrecer servicios y orientados al beneficio financiero, no era abordable por un gobierno de reducido poder como los de aquellos

1930: La formación de la barra en el puerto de San Esteban de Pravia.



1931: Un paraguas de hormigón armado en Oviedo (Sánchez del Río).

años, y solo la creación de RENFE después de la guerra introdujo la imprescindible visión unitaria para afrontar el problema. Sin embargo, los ingenieros que llevaban años polemizando sobre el problema ferroviario, sin avanzar un ápice en su corrección global (4), estaban de acuerdo en reconocer la necesidad de conectar los trazados ferroviarios que llegaban a las grandes ciudades.

A principios de los años treinta, los viajeros y mercancías que llegaban a Madrid desde el sur para seguir a Bilbao, por ejemplo, tenían que desplazarse por las calles de Madrid hacia la estación del Norte, donde otra compañía les podía transportar hacia allí. Las redes se mantenían independientes y era indispensable proveer sus enlaces, para evitar el enorme coste económico de los traslados por el interior de la ciudad y los perjuicios que ello acarrecaba a los vecinos.

En relación con los puertos, resulta obligado recordar el Dique seco de carena de Cádiz (1930-1939), de 235 x 32 x 9,3 m realizado con cajones de hormigón armado por Construcciones Hidráulicas y Civiles, compañía de José Eugenio Ribera, que había sido proyectado y calculado por Eduardo Torroja, y dirigido por José Entrecanales. Además de las dimensiones, el proceso de construir los fondos de los cajones sobre dique flotante, y terminarlos después ya a flote, fondeándoles fi-

nalmente sobre lecho de arena, es de gran interés.

También en puertos y durante el período, empieza el desarrollo de los radiofaros, con los de Vilano y Finisterre, construidos por Mauro Serret en 1922 y los de la Cerda, Silheiro, Sálvola y Machichaco, realizados por Rafael de la Cerda. También se termina la corta de Tallada, que pretendía un acceso más eficaz al puerto de Sevilla, y se construye el puente levadizo de Alfonso XIII, de 170 m de largo con dos tramos móviles de 28 m, que permiten un vano central de 56 m.

La aportación más importante del período fue, sin duda, la aparición y debate del Plan Nacional de Obras Hidráulicas realizado por Manuel Lorenzo Pardo en 1933, que acometía frontalmente el problema esencial de los Riegos de Levante, la zona española más adecuada para el cultivo de regadío. Aunque este hecho era sabido y aceptado desde tiempos bien antiguos, fue Manuel Lorenzo Pardo quien primero apuntó que era preciso tratarlo unitariamente desde una perspectiva nacional.

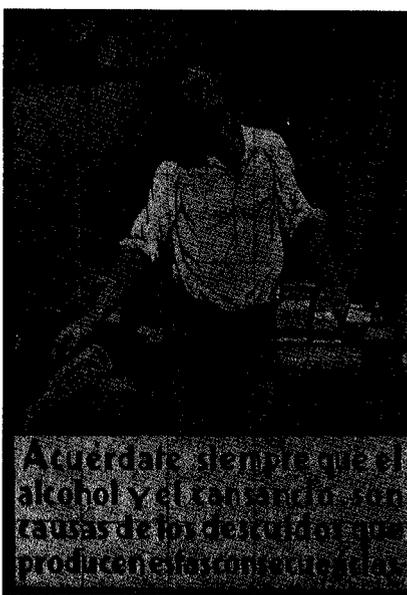
Los planes anteriores de 1902, 1909, 1916 y 1919 -que eran realmente simples listados de obras y no verdaderos planes, al faltar visión de conjunto- proponían actuaciones allí donde había agua y olvidaban la región levantina. El Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933, en cambio, acomete el problema desde la perspectiva de que las zonas más productivas desde el punto de vista agrícola son las peor dotadas de agua.

Por primera vez, se incorporaban a la planificación hidrológica un planteamiento económico y una visión territorial. Para Lorenzo Pardo, el trasvase desde el Tajo no era una posibilidad técnica, sino un instrumento de optimización de la producción agrícola nacional, fundamentado en la idoneidad natural y cultural de Levante para el cultivo, y en la existencia de demanda interior y exterior para sus productos, con la única carencia del factor de producción agua (5). Aunque el plan no llegó a aprobarse, las ideas básicas de toda la posterior política hidráulica española son deudoras -cuando no una simple transposición- de lo establecido en el plan de 1933.

Otro gran proyecto iniciado por Indalecio Prieto es la puesta en riego de las vegas del Guadiana, que más adelante se conocería como Plan Badajoz. En 1932, crea el organismo *Obras y Servicios del Cijara*, con sede en Mérida, que comienza los trabajos de campo, instala estacio-



Las quebraduras
suelen ser produ-
cidas por un vano
grande de fuerza.



Acuérdate siempre que el
alcohol y el rancho son
causas de los accidentes que
producen esta lamentable...

1932: Carteles de seguridad en el trabajo.

nes de aforo, y redacta los primeros proyectos así como un plan general de embalses y regadíos, y comienza la construcción del poblado para los futuros trabajadores de la presa de Cijara. Estaba dirigido por Rodrigo Caterna, que fue el redactor del nuevo proyecto y director de las obras desde 1933. En el equipo estaban también los ingenieros José de Castro Gil, que se encargó de la presa de Zújar, Raúl Celestino Gómez, que se encargó del canal de la margen derecha, y Manuel Díaz Marta, que se ocupó del canal y la presa de Montijo.

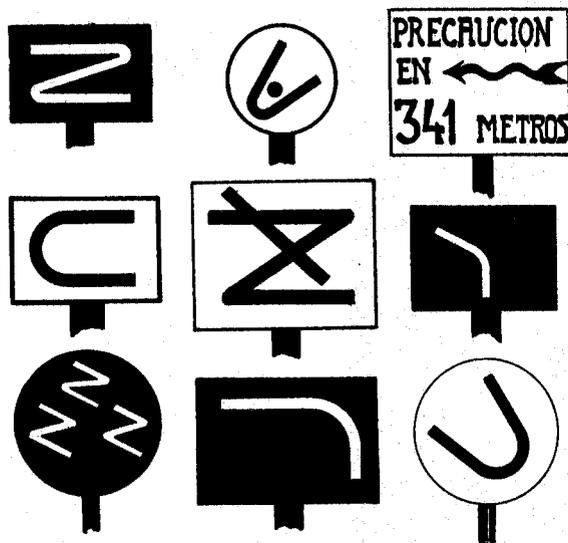
En la segunda mitad de 1933 cesa Indalecio Prieto y le sucede Rafael Guerra del Río como ministro de Obras Públicas, quien expresa su apoyo al plan acudiendo al corte del Guadiana y su desvío para la construcción de Cijara en otoño de 1933. Entonces, Manuel Lorenzo Pardo es nombrado Director General de Obras Hidráulicas y, en diciembre de 1933, aprueba el proyecto del canal de Montijo, que se empieza ese mismo mes. Por aquel entonces cuaja la idea de formalizar todas las actuaciones en un plan completo y se encarga de ello a Raúl Celestino. El Plan queda completamente esbozado en 1934 y la redacción definitiva se firmó el 5 de noviembre de 1935 (6).

La guerra civil supuso la paralización de estas iniciativas y fue, lógicamente, un período frenético para las obras públicas que eran destruidas y reconstruidas según los intereses estratégicos de ambos bandos. Muchos ingenieros participaron en ambas tareas y quizás algún día, cuando pase suficiente tiempo y se disponga de suficiente perspectiva, tengamos de un estudio riguroso algo más elaborado que los simples listados de obras destruidas

aparecidos en la *Revista de Obras Públicas*.

Resulta obligado, en cambio, recordar las dificultades afrontadas por la propia *Revista* durante la guerra civil, situación que se vivió desde presupuestos de responsabilidad y fidelidad a los compromisos adquiridos. A pesar de ello, las colecciones oficiales muestran un hueco indicativo de la discontinuidad de su publicación durante la guerra, existiendo un *Número extraordinario dedicado a la participación de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en el Alzamiento Nacional, 1936-1939*. El primer número ordinario, inaugurado por el flamante ministro de Obras Públicas Alfonso Peña Boef, con un artículo titulado *Las obras públicas en la guerra española*, sale en 1940 con el número 2.697.

1933:
Unificación de
señales en las
carreteras
españolas.



Pero, durante el año 1936 se publicaron los números correlativos hasta el 2.704: hay por tanto ocho números que se repiten, lo que significa que se estuvo publicando unos cuatro meses más, ya que en aquellos años era quincenal. Es decir, se mantuvo hasta finales de octubre, y las colecciones oficiales eliminaron esos números sustituyéndolos con los posteriores de 1940.

Esa voluntad de persistencia es especialmente manifiesta en el editorial del número 2.699, de 15 de agosto de 1936, ausente de las colecciones oficiales (7), significativamente titulado *Fijando posiciones*. Se trata de un apasionado llamamiento a todos los ingenieros que estén dispuestos a colaborar con la democracia española... para poner todas nuestras fuerzas, sin tibieza ni cobardía, al servicio de España y de la economía española, en trance de destrucción por la traición fascista. La revista consiguió publicar ocho números de tirada reducida y escasa distribución con los artículos que tenía en espera cuando empezó la guerra.

En el primer número tras la guerra, la nueva redacción se felicita por haber recuperado la 'usurpada' cabecera de la Revista y hace un recuento de obras destruidas y reconstruidas. Incluye también, como botón de muestra de los principios ideológicos a seguir desde entonces, un discurso del ingeniero de caminos Tomás García-Diego de la Huerca, pronunciado el 17.10.1937 en la jura de bandera de unos sargentos provisionales, donde habla de recuperar la vocación imperial de España, para lo que propone acrecentar nuestra fe religiosa, haciéndola base de nuestras actuaciones y venero vivo de todas las virtudes raciales. Frente a los dogmas falsos de las podridas democracias, los lemas de nuestra Edad de Oro, ya incorporados por el Generalísimo. Frente a la libertad, el servicio. Frente a la

igualdad, la jerarquía. Como superación de la fraternidad, la hermandad que presupone la común paternidad de Dios (ROP; 1936-1939: 51).

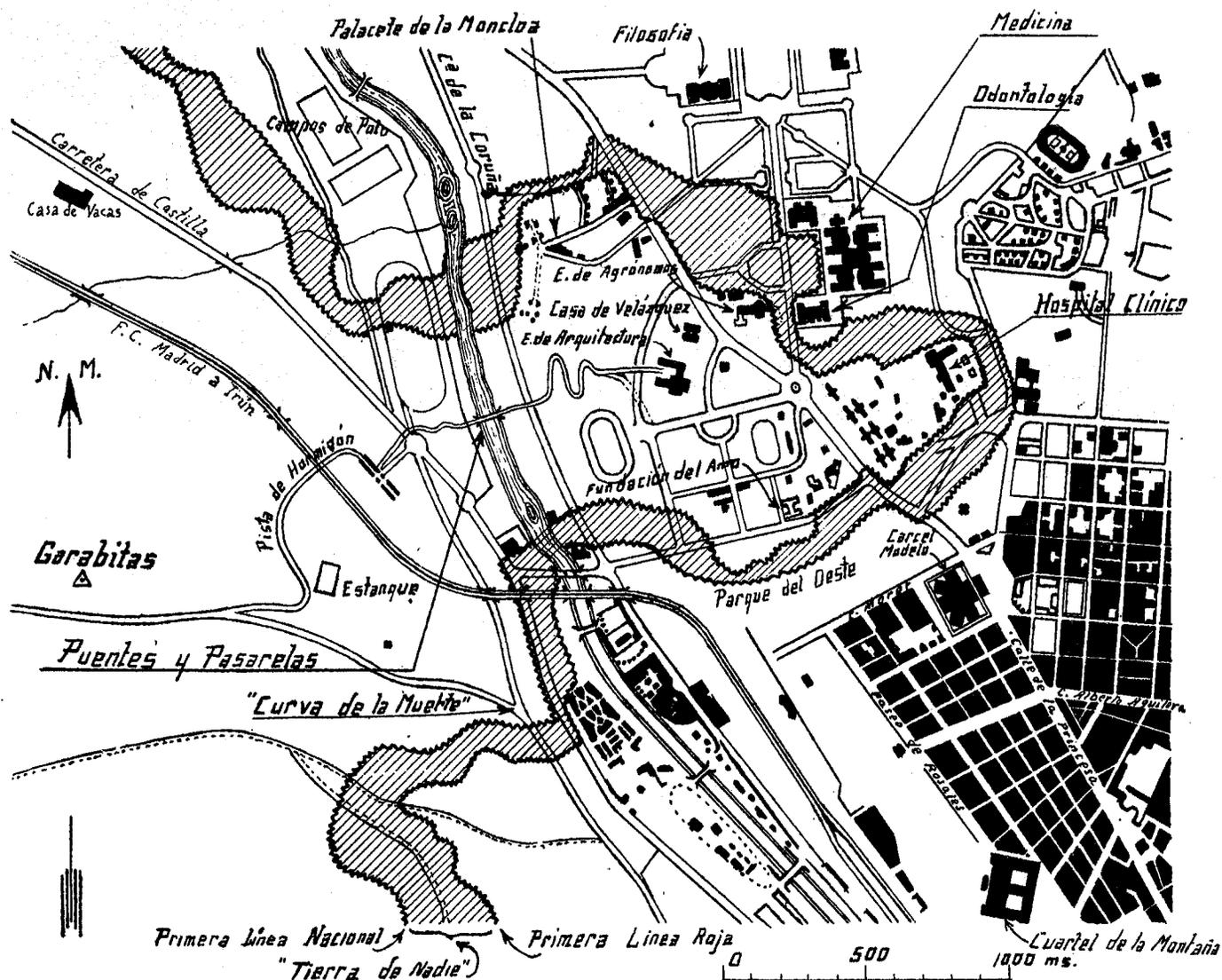
INGENIERÍA CIVIL: EL TRIUNFO DEL HORMIGÓN

Al margen de lo doméstico, el camino de la ingeniería civil viene marcado por el triunfo absoluto del hormigón como material idóneo para la construcción de todo tipo de obras. Desde principios del XIX, el hormigón —fabricado ya con los nuevos cementos— despierta enseguida el interés de los grandes constructores de la época: Thomas Telford redacta un informe recomendándolo ese mismo año y lo utiliza después en puentes y puertos, John Rennie lo recomienda para el puerto de Londres y Robert Stephenson lo utiliza en el faro de Bell Rock (1811). Hacia 1833 Brunel lo utiliza en el túnel bajo el Támesis, considerado como una de las obras constructivamente más importantes de la época.

En 1848 se produce la primera utilización a gran escala del cemento Portland en la fabricación de hormigón para la construcción de un dique en el puerto de Cherburgo (8). Desde Inglaterra, país pionero en su fabricación, el cemento Portland se traslada a Estados Unidos y Alemania, país que se convierte en el primer productor y donde se producen las primeras normas con especificaciones para su fabricación en 1877. A partir de 1890, los trabajos pioneros de Coignet en 1855 y las patentes desarrolladas por Monier en 1867, comienzan a dar fruto gracias al esfuerzo comercial de Hennebique, y el hormigón armado empieza a generalizarse como el material de construcción por antonomasia del siguiente siglo.

La primera utilización de grandes volúmenes de hormigón en masa se produce simultáneamente en Suiza, con la presa de Perolles, y en Estados Unidos, con la presa de Boyds Corner, ambas terminadas en 1872 y de dimensiones similares en torno a los 24 m de altura. En 1888 se construyó la presa de Lower Crystal Spring en San Mateo, California, que puede considerarse como la primera presa moderna cuidadosamente diseñada para su construcción en hormigón, al no poder encontrarse roca adecuada en sus proximidades, y haber sentado las bases para afrontar los problemas generados por su empleo. Ese mismo año se comienza en España la presa del Regato, que no se terminará hasta 1798, y a principios del siglo XX el hormigón empieza a consagrarse en las obras hidráulicas.

En 1916 se termina en España la presa de Talarn y en 1920 la de Camarasa, ambas realizadas en hormigón que ya superan los cien metros de altura. A partir de entonces, todas las presas importantes se construyen en hormigón. Las presas de gravedad del Chorro (1921), Jándula (1932), Fuensanta (1933), y Ricobayo (1934), se suman a la primera presa de contrafuertes de Burgomillodo (1929),



1936-1939:
El frente de la
Ciudad
Universitaria.
La actual escuela
estaría en zona
de nadie.

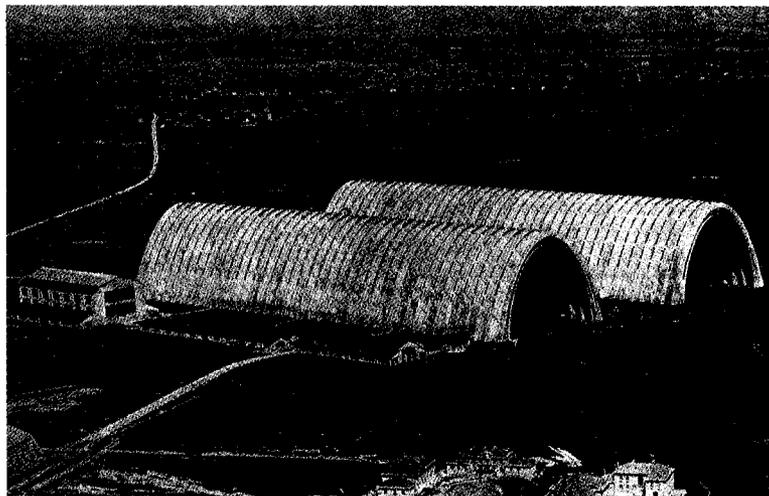
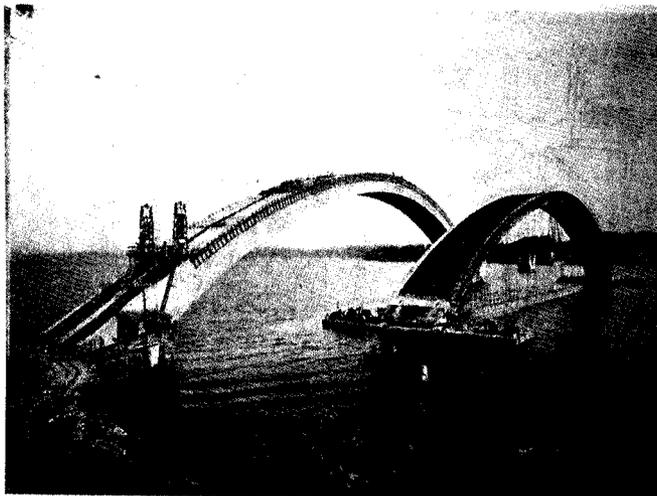
posteriormente rellenada hasta el perfil de gravedad, y a las primeras presas bóveda de Montejaque (1924) y Alloz (1930). Sólo unas pocas obras grandes se realizan con piedra, como las presas de Cervera-Ruesga (1923), El Agujero (1924), La Cierva (1929) y Santa María de Bel-sué (1931), aparte de las muchas realizaciones canarias en mampostería y sillería que duran hasta los años 70 (9).

En Estados Unidos se realiza la presa de bóvedas múltiples de Coolidge (1928), sobre el río Gila en Arizona, con tres grandes bóvedas de 75 m de alto y 54 m de luz, proyectada por Olberg, Neuffer y Fraps, del Bureau of Reclamation y, en 1936, se termina la presa de Hoover, primero llamada Boulder, que alcanza el record de 221 m de altura. En 1933 se funda la Tennessee Valley Authority (TVA) que comienza enseguida a construir numerosas pre-

sas. Norris (1936), Wheeler (1936), Guntersville (1939) y Pickwick Landing (1939) son las primeras de un largo rosario de realizaciones que permite depurar la tecnología de fabricación y puesta en obra del hormigón en grandes masas.

Pero fue el hormigón armado lo que produjo mayor impacto en la ingeniería civil, al revolucionar la tipología y el resultado formal de estructuras y puentes. Su capacidad para resistir flexiones gracias a las armaduras y el carácter moldeable del propio hormigón, que permite realizar cualquier tipo de formas sin precisar de ulteriores revestimientos, desencadenan un aluvión de nuevas soluciones que enriquecen enormemente la estética de la Ingeniería Civil.

Puentes y láminas son las obras de hormigón armado que más evidencian esa capacidad de innovación. En el



1929:
Hangares de
Orly y
puente de
Plougastel.

mundo de los puentes, el ingeniero suizo Robert Maillart (1872 -1940) se enfrenta a los problemas de retracción, fisuras y corrosión en el hormigón con la sabia estrategia de reducir los volúmenes a emplear. Decía que la masa no era sustituto de la calidad, y diseñaba secciones estrictas con buen hormigón. Son puentes ligeros, con poco peso propio respecto a las sobrecargas, por lo que la rigidez frente a cargas móviles es importante.

En una primera línea de trabajo, esta estrategia le permite revolucionar el arco con un inteligente reparto de la rigidez, que en algunos casos se confía al arco y en otros al tablero, incorporando a veces una barandilla resistente, como en la Pasarela sobre el Engstigen (1931). Aliviado de las grandes cargas puntuales, el esbelto arco adquiere una cierta independencia del tablero, lo que resulta muy adecuado en lugares angostos de muchas curvas, que exigen puentes curvos. Maillart soluciona con maestría el trazado curvo, desplazando el tablero sobre el arco que es más ancho en arranques, como en los puentes de Landquart (1930) o Bohlbach (1932). Desde una perspectiva puramente formal, los puentes más logrados de este tipo de arco esbelto son el de Schwandbach (1933) y la pasarela sobre el río Toss (1934).

En otra línea de investigación, dispone arcos triarticulados con sección variable para minimizar las tracciones en las zonas de mayor momento. El más espectacular es el puente de Salginatobel (1930) que, con sus 90m de luz es el mayor construido por Maillart y fue el mayor arco triarticulado de hormigón durante mucho tiempo. Posteriores y de tipo similar, aunque en localizaciones menos lucidas son los puentes de Thur (1933) y de Vessy sobre el Aares (1936) (10).

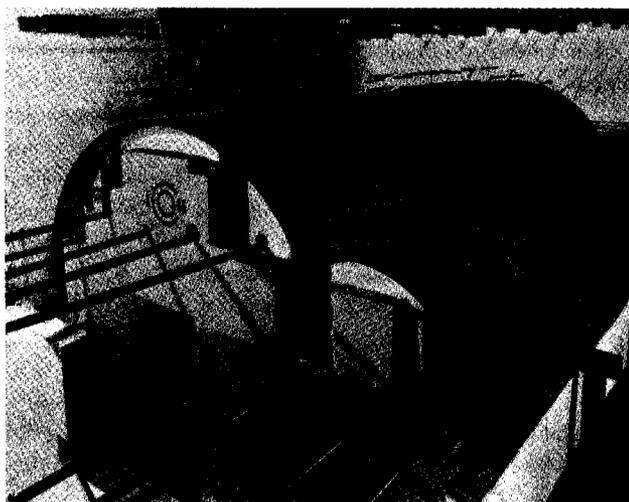
En Francia, su colega Eugène Freyssinet (1867 -1962) aborda esos problemas del hormigón armado con una línea de trabajo distinta, basada en la introducción de esfuerzos en la estructura por medio de gatos hidráulicos,

que luego se reveló como mucho más fructífera y originó la técnica del pretensado. Tras una década ocupada en el reemplazo de los puentes colgantes del Veudre, Boutiron y Châtel de Neuvre con arcos de hormigón, donde desarrolla el descimbrado y la corrección de deformaciones de fluencia por medio de gatos alojados en la clave, Freyssinet se asocia con el contratista Limousin y acomete las que serán las obras de hormigón armado más importantes de este período.

Tras realizar los puentes de Tonneins (1916, 5x46 m) y Villeneuve sur Lot (1919, 100 m), construye los Hangares de Orly (1921 - 1923), dos edificios de 86 m de luz por 50 m de alto y 300 m de longitud para albergar dos gigantes dirigibles. La solución estructural elegida está formada por 40 arcos de perfil parabólico, cuya sección transversal es una onda en V de 7,5 m de ancho que colabora en el trabajo primario del arco, integrando estructura principal y secundaria en un único trabajo conjunto.

Aunque Freyssinet siempre declaró ser ajeno a las intenciones artísticas, la obra resultó de una enorme potencia y fuerza expresiva, que le valió el aprecio unánime de arquitectos e ingenieros de todo el mundo. La total adecuación de la forma resistente a los medios constructivos, formados por ménsulas de arranque, y cimbras de hormigón y madera rigidizadas por cables en abanico para el gran arco, que se desplazaban longitudinalmente sobre carriles, colabora a su consideración como obra modélica de todos los tiempos.

En el campo de los puentes, tras realizar el puente de Saint Pierre de Vauvray. (1923) record de luz con sus dos arcos paralelos empotrados con tablero inferior de 132 m de luz, construye el importantísimo puente de Plougastel (1930, 3x 188 m) para ferrocarril y carretera. Las grandes dimensiones del vano impusieron la necesidad de desarrollar nuevas soluciones constructivas para los grandes arcos de hormigón con sección tubular. Freyssinet resolvió



1936: Visita a las obras de Torroja.

el problema con una única cimbra, que fue la mayor estructura de madera construida hasta entonces, formada por un arco de madera rigidizado por dos abanicos de cables y apoyado sobre pontonas flotantes.

Plougastel supone la culminación de la obra de Eugène Freyssinet en hormigón armado. Para él, era el más conseguido de sus puentes y, probablemente, pueda considerarse como obra cumbre del material en todas las épocas. El naciente desarrollo del pretensado, debido a su propio talento, proporcionó un nuevo rumbo y otras posibilidades al hormigón, consagrando estas obras como punto álgido de la tecnología del hormigón armado.

En el campo de las estructuras de hormigón, la cúpula hemisférica del planetario suizo de Jena (1926), un vano de 25 m de luz salvado con una lámina de hormigón armado de solo 6 cm de espesor construida por la empresa alemana Dyckerhoff und Widmann, pone en marcha esta brillante pero efímera tipología, cuya primera aproximación de cálculo desde la teoría simplificada de membranas es desarrollada por su ingeniero jefe Franz Dischinger (1887 -1953) y publicada en *Der Bauingenieur* en 1928. En 1932 le sucede Ulrich Finsterwalder (1897 - 1988), quien realiza importantes cubiertas en Munich y en Colonia, a base de láminas cilíndricas reforzadas con nervios transversales.

Obras de menor tamaño pero de enorme riqueza artística son las láminas de hormigón armado desarrolladas por Eduardo Torroja (1899-1961). Termina la carrera en 1923 y realiza sus obras más importantes entre 1926 y 1936. Discípulo de José Eugenio Ribera, admirado por Frank Lloyd Wright y los arquitectos contemporáneos, a partir de 1930 adquiere un enorme prestigio internacional. Su obra está indisolublemente unida al hormigón armado que consideraba como un material idóneo para construir: fecundo, maleable y plástico, y alcanza cotas de perfección en su empleo.

Con el hormigón armado, Torroja realiza su máxima aportación creadora con las láminas como nuevo concepto estructural que utiliza poco material y busca la resistencia optimizando la forma de la estructura. Con estas láminas revolucionarias, Torroja consigue tres obras maestras con distintas formas resistentes, que se suceden en solo dos años.

El mercado Algeciras (1933) se cubre con una cúpula semiesférica rigidizada en sus bordes por medio de unas marquesinas en lámina cilíndrica y se zuncha en cabeza de pilares por medio de un anillo octogonal postesado. Las marquesinas del Hipódromo de la Zarzuela (1934) se resuelven con unos hiperboloides volados, cuyo peso propio es compensado por un tirante trasero que sujeta una cubierta laminar inferior. Por último, en el frontón Recoletos (1935) la cubierta se resuelve con dos láminas cilíndricas longitudinales apoyadas en los testeros que intersectan a lo largo de una generatriz e incorporan unas zonas en celosía para dejar pasar a la luz.

Tres obras que son, sin duda, obras importantes por la novedad del concepto estructural, por la extraordinaria ligereza conseguida con esbeltez superior a 1/500, y por un resultado formal que aúna la tensión de la estructura con la tranquila claridad de unas formas suaves y lisas.

Radicalmente distinta es la estética del italiano Pier Luigi Nervi (1891 - 1979), graduado como ingeniero civil en Bolonia en 1913, cuyas cubiertas emplean soluciones muy desarrolladas en lo constructivo, al contrario que Torroja. Maneja muy bien la mezcla de prefabricados y construcción in situ, dando lugar a unas estructuras nervadas ligeras y bien ordenadas. Sus doce hangares de Orvieto, construidos de 1935 a 1940, son estructuras de 100x40 m en planta con sólo seis soportes para la viga tubular que rigidiza el borde, que consiguieron el aplauso unánime de arquitectos e ingenieros.

CONCLUSIONES

Como se puede ver, en los cinco años que van desde 1930 hasta 1935 se construyen las obras más importantes de la tecnología del hormigón armado, que ha logrado consolidarse como instrumento básico para la realización de todo tipo de obras de ingeniería civil. Salginatobel, Orly, Plougastel, Algeciras, La Zarzuela, Recoletos y Orvieto son obras maestras realizadas casi simultáneamente, en una época política y económicamente muy difícil. Ello induce a reflexionar sobre la independencia de la ingeniería, o de cualquier otro proceso creativo, respecto a coyunturas económicas, y reestructuraciones, planes o cambios administrativos que, teóricamente, parecen de suma importancia en el desarrollo de las obras públicas.

En el campo de las grandes estructuras metálicas, de escasas realizaciones en España, los logros en grandes estructuras son numerosos. Durante estos años, en Estados Unidos se realizan numerosos arcos metálicos y puentes colgantes de grandes luces que, junto a las realizaciones europeas en hor-

migón armado, consagran una especial estética de las obras de ingeniería, de parámetros bastante diferentes a los imperantes en el siglo XIX.

Como virtud esencial de esa estética se puede señalar la simplicidad: se reduce al mínimo el número de elementos estructurales, se dejan de utilizar las celosías redundantes y se multiplica el uso de las Pratt y Warren (las más limpias), se busca la elegancia y la precisión. Y, también, la continuidad o fluidez de los esquemas estructurales, en lugar de la desafiante irregularidad que marcaba las obras del XIX, que es el producto estético heredado principalmente del empleo del hormigón (11).

La influencia de esta nueva estética ingenieril sobre la arquitectura fue decisiva y colaboró al abandono de formas seculares de construir pero, no tanto por lo atractivo de unas formas simples y continuas muy novedosas, sino por la adopción de planteamientos de racionalidad para diseñar lo construido resolviendo mejor los problemas. ■

REFERENCIAS

- (1) Saénz Ridruejo, Fernando; 1993. Los ingenieros de caminos. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid. (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, nº 47): 186
- (2) Uriol Salcedo, Ignacio; 1997. Las carreteras desde Isabel II a nuestros días.. En: Viaje por la historia de nuestros caminos. Grupo FCC, Madrid: 245-341: 300.
- (3) Recogido en *Le Corbusier y los caminos de España: Circuito Nacional de Firmes Especiales*. ROP, 1932: 166
- (4) Los numerosos artículos, notas y opiniones sobre el problema ferroviario que aparecen en la Revista de Obras Públicas de estos años permiten seguir la discusión, que es poco ordenada y nada fructífera.
- (5) Lorenzo Pardo, Manuel; (ed.); 1933. *Las directrices de una nueva política hidráulica y los riegos de levante*. Asamblea celebrada en Alicante el 26 de febrero de 1933. Comunidad de Murcia, Murcia, 1988.
- (6) En un suplemento extraordinario de *El Debate*, aparecido en octubre de 1934 se publica una reseña del plan.
- (7) Debo esta información a Marisa Marco, responsable del Servicio de Documentación y de la Biblioteca del Colegio de Ingenieros de Caminos, quien encontró esos números en la biblioteca de un ingeniero que los había ocultado encuadrándolos en el tomo de 1933.
- (8) Francis, A. J.; 1977. *The cement industry: 1796-1914: a history*. David & Charles, London: 56
- (9) Desde 1919 hasta 1971 se cuentan más de 60 presas de unos 25 a 30 m, que a veces alcanzan los 40 ó 45 m de altura. Ver: Aguiló, Miguel; 2002. *La enjundia de las presas españolas*. ACS, Madrid: 180
- (10) Las cimbras exigidas por estos arcos son obras de arte en sí mismas. Casi todas las cimbras de los puentes de Maillart fueron diseñadas por el ingeniero R. Coray. Ver: Bill, Max; 1949. *Robert Maillart. bridges and constructions*. Verlag für Architektur, Zurich
- (11) Condit, Carl W.; 1961. *American building art: The twentieth century*. Oxford University Press, New York: 302.