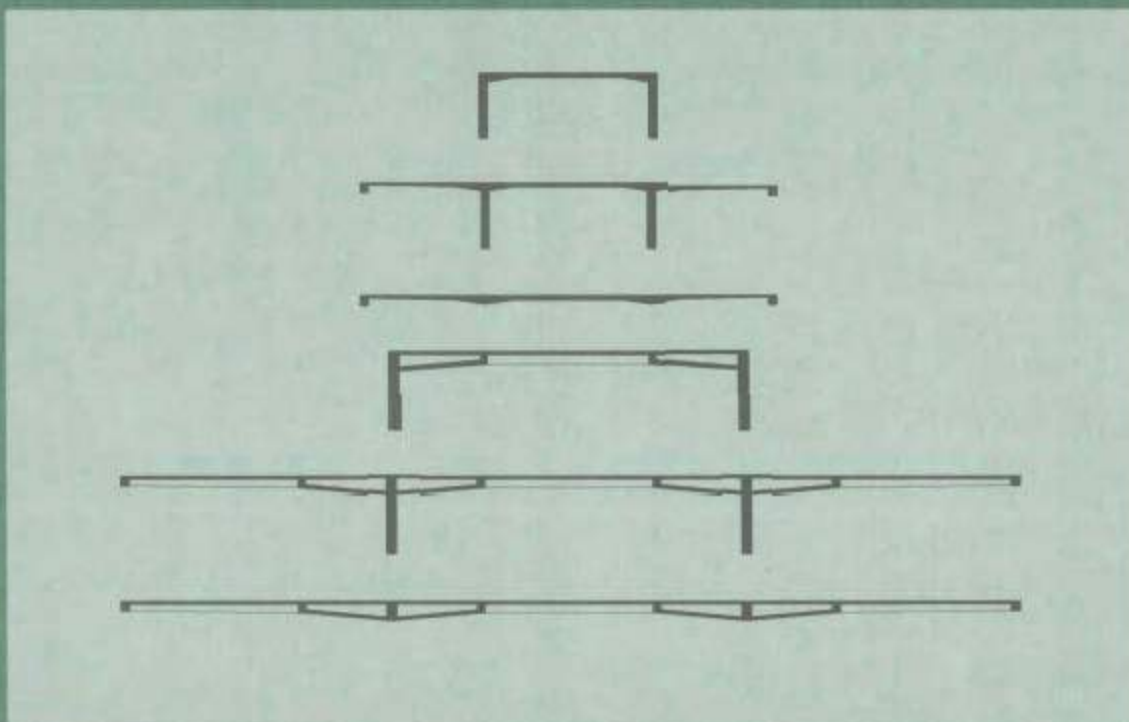


# CARLOS FERNÁNDEZ CASADO



FUNDACION  
ESTEYCO

SECCIONES TÍPICAS DE LOS PUENTES DE ALTURA ESTRICTA

*"Utilizar la idea para llegar a la realidad efectiva de las cosas. Desarrollando esta fórmula podemos hacer, a posteriori, un esquema del proceso mental que nos llevó hasta nuestra Colección. Por recolección de las notas dispersas en los puentes de tramo recto construidos, obtuvimos los problemas de este tipo de puentes, y al unificarlos en lo esencial, llegamos hasta la idea del mismo. En el paso de los datos de la realidad por el crisol de la idea, tuvimos la ocasión de purificarlos de todo lo accidental, y ésta es la significación de lo estricto, aunque aparentemente califique sólo la altura de nuestros puentes."*

CARLOS FERNÁNDEZ CASADO

Colección de Puentes de altura estricta. Revista Obras Públicas, 1934

Para la difusión y el progreso de la Ingeniería y la Arquitectura



FUNDACION  
ESTEYCO





**FUNDACION  
ESTEYCO**

En mayo de 1991 se constituyó la Fundación Esteyco con la finalidad de contribuir al progreso de la ingeniería y de la arquitectura en nuestro país.

La situación de precariedad e incertidumbre en que se ha estado desarrollando la ingeniería española independiente, ha exigido hasta ahora actitudes básicamente de supervivencia.

El esfuerzo de un creciente colectivo de profesionales y de órganos de la Administración ha ido, sin embargo, consolidando un sector cuyos servicios son considerados indispensables en una sociedad moderna y eficiente.

Es tiempo de pensar en el futuro, confiando en que no tardará en hacerse presente.

Fomentemos, para ello, un clima propicio para la creatividad, en el que se exija y se valore el trabajo bien hecho.

Contribuyamos a una sólida formación de los profesionales de la ingeniería, conscientes de que las organizaciones valen lo que valen sus miembros y de que en la ingeniería el valor de las personas se mide por el nivel de sus conocimientos.

Alentemos mejores y más frecuentes colaboraciones interprofesionales, eliminando fronteras innecesarias.

Reivindiquemos un espacio cualitativamente destacado de la ingeniería en la sociedad e impulsemos la evolución de la imperante cultura del hacer hacia la cultura del hacer pensando.

Consideremos las ingenierías como una prolongación de la Universidad, en la que se consolida la formación de los jóvenes titulados, en los años que serán decisivos para su futuro.

Sintámonos involucrados con la Universidad y centros de investigación.

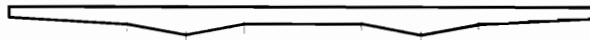
Aseguremos la estabilidad y pervivencia de nuestras organizaciones y establezcamos los medios para que su vitalidad, garantía de futuro, no se encuentre lastrada.

Valoremos nuestra independencia, no como un arma contra nadie, sino fundamentalmente como un atributo intelectual inherente a quienes tienen por oficio pensar, informar y decidir libremente.

*Javier Rui-Wamba Martija  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Presidente de la Fundación Esteyco*



Carlos Fernández Casado



Copyright © 1987, Fardak, Inc. Fresno, CA  
Copyright © 1987, Nelson Books, Co. Fresno, CA  
Copyright © 1987, Leona and Fernando Treviño  
Copyright © 1987, Maria Mercedes Armas  
Edited by Patricia Esteve  
Distributed by Fardak  
ISBN 0-89521-092-2  
Deposited legal: 37-42156-097  
1st Edition, December, 1987

## *Contenido*

Javier Rui-Wamba Martija	PRESENTACIÓN	9
Antonio Bonet Correa	DON CARLOS, INGENIERO Y HUMANISTA	10
Leonardo Fernandez Troyano	MI PADRE	13
Javier Manterola Armisén	LA OBRA CONSTRUIDA	49
	ARTÍCULOS: FRAGMENTOS	93
	BIBLIOGRAFÍA	113



## *Presentación*

PRONTO, en mayo del 98, se cumplirán diez años desde que Carlos Fernández Casado concluyó el puente, que había pasado su vida construyendo, entre la tierra y el cielo.

Antonio Bonet Correa, amigo del hombre y admirador del ingeniero, publicó entonces un entrañable elogio biográfico que, extractado, sirve de prólogo a este libro.

Nunca, hasta ahora, Leonardo había querido escribir sobre su padre. Desde ahora, lo que ha escrito será referencia indispensable para conocer a don Carlos y el ambiente en el que desarrolló su vida profesional. En el espejo de los recuerdos, siempre aparece el reflejo del autor. Es un texto que puede provocar muchas reflexiones. A mí, me recordó que *“lo peor de las guerras civiles es que cuando acaba la guerra no comienza la paz”*. Me sugirió, también, que si felizmente ya no existen barreras ideológicas en torno a la Universidad, quizás se estén creando otras de carácter burocrático y corporativo. El recuerdo, con emoción contenida, de las figuras de don Félix Huarte y don José Entrecanales plantea también reflexiones sobre el mundo de la construcción actual. Ciertamente, antes no era mejor que ahora, aunque parece que mañana puede ser peor que hoy.

La obra construida de don Carlos, rememorada por Leonardo y con más minuciosidad por Javier Manterola, plantea un tema muy actual: lo “estricto” en las concepciones ingenieriles de don Carlos como reflejo de su propia actitud vital. ¿Estarían sus empeños filosóficos esencialmente dirigidos a cimentar sólidamente sus concepciones, para lo que, además, necesitaba una independencia de juicio que él, en buena medida, consiguió alcanzar? ¿Son las obras el reflejo del alma del ingeniero que las proyecta y construye? ¿O es la imagen, que no la imaginación, de un entorno económico, social y cultural?

Nuestro libro concluye con una pequeña selección de la profusa obra escrita que don Carlos nos ha legado, y que asombra por su amplitud, variedad y coherencia.

Quien lo lea hasta el final, si no lo sabía cuando empezó su lectura, descubrirá un personaje irrepetible del que muchos nos sentimos y seguiremos sintiéndonos compañeros. En cualquier caso, la lectura no dejará a nadie indiferente, porque parafraseando a Walt Whitman: *“Lector amigo, no es un libro lo que tienes en tus manos; es un hombre, un ingeniero”*.

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA  
Presidente de la Fundación Esteyco

## *Don Carlos, ingeniero y humanista*

DON CARLOS tenía una inteligencia privilegiada a la que unía una bondad y cordialidad extremas. Gran conversador, con su temperamento sereno y apasionada palabra, enriquecía siempre a sus interlocutores. Don Carlos, pleno de ideas y con una curiosidad intelectual que no tenía límites, sabía crear en torno suyo un clima de cálido y cordial intercambio de ideas, de comprensión y razonamiento sobre los más distintos aspectos de la vida y del pensamiento.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e ingeniero de Comunicaciones, era también licenciado en Filosofía y Letras y en Derecho. Catedrático y académico de Bellas Artes de San Fernando, además de constructor fue autor de muchos libros, de carácter técnico unos, históricos y teóricos otros. En la Academia de Bellas Artes fue el primer numerario que ingresó en calidad de ingeniero, abriendo así un capítulo que ya tiene continuidad en tan ilustre corporación.

Desde el primer momento su biografía muestra la doble vocación del constructor y del humanista. Ingeniero en 1924, inició sus estudios en la Facultad de Filosofía y Letras en 1927. En 1928, destinado en Granada, intervino en manifestaciones vanguardistas. En la revista "Gallo", que dirigía Federico García Lorca, publicó la conferencia que *sobre Ingeniería: maquinismo y arquitectura* había pronunciado en el Ateneo granadino. Texto inaugural y revelador de su dedicación a las tareas del pensamiento. Profesión de fe sobre la reflexión que debe acompañar la práctica profesional. Don Carlos entró así en la vida intelectual y artística de su generación, la generación del 27. A este escrito fundacional pronto se sucedieron otros como *Arquitectura del ingeniero (teoría del Arco)* (1931-1933). Desde entonces nunca abandonará su actividad de teórico y tratadista. A los libros puramente técnicos como *Cálculo de estructuras reticulares* (1934-1966, ocho ediciones), se suceden otros trabajos y libros de carácter arqueológico e histórico sobre los puentes españoles, romanos, renacentistas, barrocos y modernos. Sus múltiples artículos y estudios de carácter teórico fueron recogidos en un grueso volumen: *La Arquitectura del ingeniero* (1975). Su pensamiento culminó en su discurso de entrada en la Academia, que versó sobre *Estética de las artes del ingeniero* (1976).

Su obra de ingeniería constituye todo un capítulo de la historia de la construcción en España. Autor de puentes y acueductos, de cubiertas de naves industriales y estructuras de edificios, don Carlos Fernández Casado ha dejado tras de sí un sinfín de obras de gran utilidad y belleza.

Teniendo en cuenta la naturaleza al proyectarlo, hacía que el puente se integrase al paisaje, de forma que éste constituyese el fondo definitivo sobre el que emergía la estructura construida. Acto poético el del constructor que ante el reto de la Naturaleza sabe ordenarla y humanizarla, proporcionando a ésta la medida del hombre, convirtiéndola así en un “estado de alma” para el espectador. Idea y realización acorde con un concepto sublime y armónico del paisaje.

En tanto que profesor desarrolló una labor importantísima. Formado en el medio intelectual de la Institución Libre de Enseñanza, fue siempre tolerante en las ideas ajenas y participó de un concepto muy alto de la acción docente. Discípulo del filósofo Xavier Zubiri, su pensamiento era riguroso y profundo. En el terreno profesional fue partidario de colmar las diferencias existentes desde el siglo XIX, entre los arquitectos e ingenieros. Nada polémico, quería integrar las dos prácticas del arte de la edificación, del cual opinaba que debía recuperarse su raíz cósmica. Según sus palabras, “la Arquitectura no es sólo volumen ordenado, es también materia que pesa”. Vencer la ley de la gravitación y dominar los materiales son tareas esenciales del que construye. Al diseño hay que aunar la técnica. El cartabón y la plomada son los dos símbolos de un arte en el que se funden la belleza y la “tensión de los esfuerzos”. Difícil pero gratificante trabajo para el creador de la Arquitectura total.

Su obra es el mejor testimonio de su vida, por entero consagrada a la ciencia, la tecnología y la estética. Al igual que las obras de ingeniería del pasado, sus creaciones son un reto al tiempo. Bajo sus puentes, firmes y bellos, seguirá, inacabable, el fluir de la Historia.

ANTONIO BONET CORREA

Académico de Bellas Artes



Desenho de Benjamin Palenik, artista  
de rua na Geórgia, EUA

## *Mi padre*

LO QUE puedo escribir sobre mi padre lo conozco en su mayor parte por comunicación oral. Los hechos anteriores a mí, porque él me los contó; la mayor parte en los viajes que hicimos juntos, que fueron muchos. Los que viví cerca de él, porque hablaba de ellos con frecuencia; era muy extrovertido en familia respecto de su trabajo y sus incidencias. Y por último, cuando trabajábamos juntos, algunos hechos los viví con él directamente.

Escribir lo que se recuerda de unos relatos orales sobre recuerdos de otra persona, puede dar lugar a inexactitudes e imprecisiones, y de hecho aquí las habrá. Espero que, a pesar de ellas, en líneas generales sea una aproximación bastante fiel a lo oído y a lo vivido.

MI PADRE nació en Logroño el 4 de marzo de 1905. En la casa donde nació, cerca del Espolón, hay una placa que lo conmemora. La colocaron en 1984, con motivo de un homenaje que le dedicó el Ayuntamiento de la ciudad, con una exposición de sus obras. Él no pudo asistir porque se encontraba ya enfermo. En 1986 le dieron la medalla de oro de La Rioja, acto al que tampoco pudo asistir por la misma razón.

Sobre su infancia en Logroño, donde estuvo hasta los once o doce años, ha escrito en alguna ocasión para referirse al vértigo que le producía el río Ebro al pasar por el Puente de Piedra o por el Puente de Hierro, los dos puentes de la ciudad; a estas impresiones infantiles atribuía en parte su dedicación a los puentes.

Recuerdo haber hecho con él un viaje a Logroño poco después de terminar la carrera. En él me contó algunos recuerdos de su niñez, pasamos por los puentes, y vimos el pórtico sobre el ferrocarril de la calle de Vara del Rey, de su Colección de Puentes de Altura Estricta, una obra que le gustaba especialmente por estar en su ciudad natal.



Acueducto del Najerilla.

Presa de la Retorna en el río Najerilla, durante la construcción y en la actualidad, con la escala salmonera.

Después de la Guerra Civil, en 1944, construyó en La Rioja, para la Electra Recajo, los acueductos del Najerilla y la presa de derivación del Salto de la Retorna, una presa arco de 14 metros de altura. El acueducto principal es un arco de 60 metros de luz. Eran también obras a las que mi padre tenía especial aprecio y que visitamos en aquel viaje a Logroño. También las visitamos en el último que hicimos con él una gran parte de la familia, incluidos hijos y nietos, en 1983; en este viaje pasamos por los dos puentes de Castejón sobre el Ebro, por Logroño, y volvimos hacia Madrid remontando el río Najerilla.

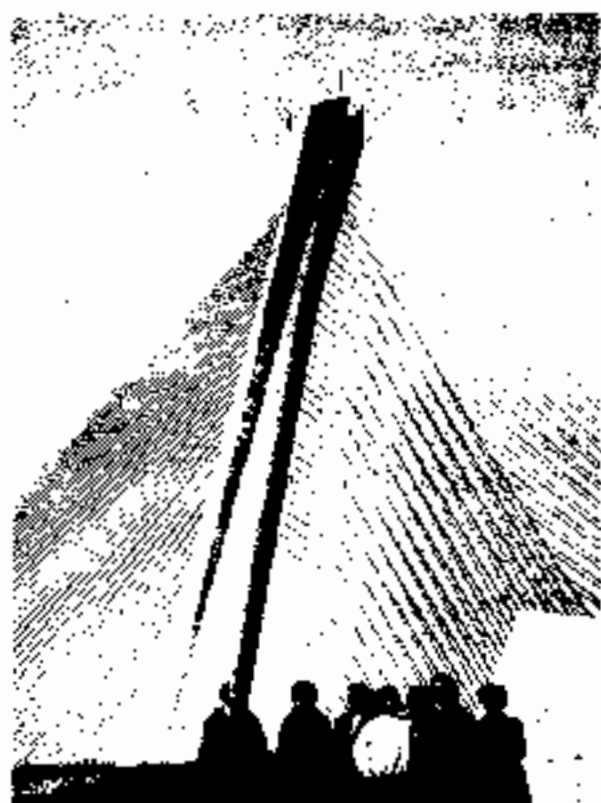
La familia de mi padre no era de Logroño. Vivieron allí bastantes años porque mi abuelo, Tomás Fernández Jiménez, que era militar, estuvo destinado en el cuartel de artillería de esa ciudad. Anteriormente estuvo varios años en Filipinas y después en África, unas veces solo y otras con la familia. Mi padre recordaba muchas cosas de África, sobre todo de los años en que su padre era coronel en el Hacho, un cuartel cerca de Ceuta, donde iban a pasar algunos veranos.

A los catorce años ingresó en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. El que le animó a estudiar Caminos fue su hermano mayor, Tomás, que estaba estudiando en la Escuela.

Recuerdo que contaba que se presentó al examen de ingreso con pantalón corto, sin haber terminado el bachillerato. Lo terminó en septiembre, antes de matricularse en primero de Caminos, porque para empezar la carrera sí lo exigían. Sus primeros pantalones largos se los hizo para ir a la Escuela.

Terminó la carrera a los 19 años, creo que con el número tres de su promoción, con lo que no estaba demasiado conforme, con nota de *Muy Bueno*. Hay que tener en cuenta que todos sus compañeros eran mucho mayores que él.

Al terminar la carrera había pocas salidas y por ello su padre y su hermano mayor Tomás, pensaron que hiciera también Ingeniero de Telecomunicación. Le convalidaron algunas asignaturas, otras las aprobó, y tuvo que hacer prácticas de radiotelegrafista. Recuerdo que



En el puente del Hen, 1949-1950

En el túnel de camión del Sagrado  
Novo, 1983

contaba que el Morse no se le daba demasiado bien. Al final le quedaron las asignaturas sobre radio; entonces consiguió una beca y se fue a la Escuela de Radio de París, donde estuvo un año. Se hizo ingeniero de Radio allí, y eso le sirvió para convalidar las asignaturas que le faltaban para terminar en 1927 la carrera de Ingeniero de Telecomunicación. Pero esta profesión nunca le interesó especialmente. Hizo unos estudios sobre radiolámparas y dió unos cursos en la Escuela de Caminos sobre ello, pero después fue un tema que abandonó.

Creo que una de las mayores virtudes de mi padre fue su afán de saber y su interés por conocimientos muy diversos y por diferentes artes. Quizá en esto pueden haber también sus debilidades, porque en el mundo actual es muy difícil un conocimiento tan universal. En esta actitud se puede decir que se aproximaba a los hombres del Renacimiento, y de ahí su admiración por Leonardo da Vinci, al que debió mi nombre. Sin embargo, en ese interés por distintos conocimientos no creo que estuvieran ni la música ni las telecomunicaciones.

Después de terminar Telecomunicación se fue con su hermano Tomás a trabajar a Granada de ingeniero libre, proyectando caminos vecinales, alguna conducción de aguas y también algún puente pequeño.

En Granada vivió unos de los mejores años de su vida. Empezó sus estudios de Filosofía y Letras que terminó en Madrid después de la Guerra. Se licenció en la especialidad de Historia en 1941. Conoció a Federico García Lorca, a Fernando de los Ríos y a los que formaban el grupo Gallo, movimiento vanguardista que dirigía Federico. Uno de los momentos que recordaba con más cariño era su intervención en la Noche de Gallo: *Ingeniería, Maquinismo y Arquitectura*, donde a sus 23 años definió las bases de su pensamiento sobre el significado de la ingeniería, que luego continuó en varias publicaciones: *Teoría del puente* publicado en la Revista Ideas Estéticas en 1951, en mi opinión, uno de los mejores que escribió, *Tres momentos del ingeniero en la Historia*, publicado en el libro *Huitemos a Xavier Zubiri* en 1970, *Naturalidad y artefacto en la obra del ingeniero*, publicado en Realitas II, trabajos del seminario Xavier Zubiri,

1976; y en su discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando *Estética de las artes del ingeniero*, en 1976.

En Granada empezó también su principal afición deportiva, el esquí. Subía a esquiar a Sierra Nevada, en una época en que este deporte era prácticamente desconocido y muy minoritario. Después, cuando se trasladó a vivir a Madrid, siguió esquiando en la Sierra de Guadarrama.

No sé cuando lo dejó, seguramente con la Guerra, pero en los años 50 volvió a esquiar durante varios años; íbamos siempre juntos hasta que lo dejó definitivamente.

DESPUÉS de vivir varios años en Granada, volvió a Madrid, y muy pronto inició su relación con Félix Huarte, constructor navarro, que dió lugar a su trabajo en la empresa Huarte y Cía, donde desarrolló una gran parte de su actividad profesional. Aunque siempre tuvo diversas actividades, creo que su trabajo en Huarte y Cía, continuado después en la oficina de proyectos creada por él, es el que más le satisfacía.

Su relación con Félix Huarte fue muy estrecha, sobre todo en los primeros años en que la empresa era pequeña. No hubo amistad entre ellos, porque eran personas muy diferentes, pero si un profundo respeto y estima mutuos, que dió lugar a los grandes trabajos que hicieron juntos.

Contaba mi padre, y también lo ha escrito, que Félix Huarte le ofreció en varias ocasiones la dirección de la empresa; pero él tenía claro que ese no era su camino, entre otras razones porque había podido apreciar lo que era un buen gestor y director en su estrecha colaboración con D. Félix. Con ello se convenció que eso no era lo suyo, ni por vocación, ni por aptitudes personales.

Su primer contacto con Félix Huarte fue a través de Enrique Becerril, compañero suyo de promoción, para presentarse juntos al concurso del viaducto de Madrid. El concurso se anuló y a la siguiente convocatoria no se presentaron.

En 1932 hizo su primera obra con la empresa Huarte y Cía S.L., entonces Huarte y Malumbres S.L.: la facultad de Filosofía y Letras de

La Facultad de Filosofía y Letras en la Ciudad Universitaria. Madrid, 1932.

Puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares, 1934.

Puente del Pardo sobre el río Manzanares, 1935.



la nueva Ciudad Universitaria de Madrid, proyecto del arquitecto Aguirre, y que dirigía por parte de la Ciudad Universitaria Eduardo Torroja. Empezaron entonces sus relaciones con este insigne ingeniero, que nunca fueron muy fluidas, con altibajos a lo largo de diferentes encuentros en su vida profesional, hasta la muerte prematura de Torroja.

La siguiente obra fue el puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares, proyecto suyo para el Gabinete Técnico de Accesos y Extrarradio, anterior a su relación con Huarte y Cía. Era la nueva salida de Madrid de la carretera de La Coruña, que sustituyó al puente de San Fernando. Es un puente muy oblicuo con una luz principal de 20 metros. Posteriormente, en fechas recientes, se ha ensanchado y desdoblado.

Ganaron la obra y así se iniciaron en puentes de una cierta envergadura. Se terminó en 1934. Éste, junto con el de El Pardo, que construyó con Huarte y Cía un año después, ambos de su Colección de Puentes de Altura Estricta, son de los que más ha querido mi padre de todos los que construyó. Siempre había fotografías de los dos en su despacho.

El puente del Pardo sobre el río Manzanares, con vanos de 20 metros, lo hizo también para el Gabinete Técnico de Accesos y Extrarradio, y se construyó para el nuevo acceso a la Sierra de Guadarrama, que atravesaba el monte de El Pardo. Este acceso era mucho más corto que los dos actuales, el de la carretera de la Coruña y el de la carretera de Colmenar Viejo. No se pudo terminar antes de la Guerra, y al finalizar ésta, Franco se instaló en El Pardo, decidió que esa carretera pasaba muy cerca de su Palacio, y ordenó que se

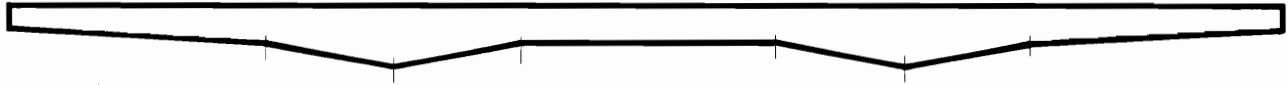


Cuchillo de la armadura del puente del Pardo. Mi padre a la derecha.

abandonara. Por ello, este puente nunca conoció el tráfico. Muchos años después, la saca de arenas en el río Manzanares rebajó su nivel y descalzó los pilotes; al construir la presa de El Pardo, el puente quedaba sumergido en el embalse y se voló.

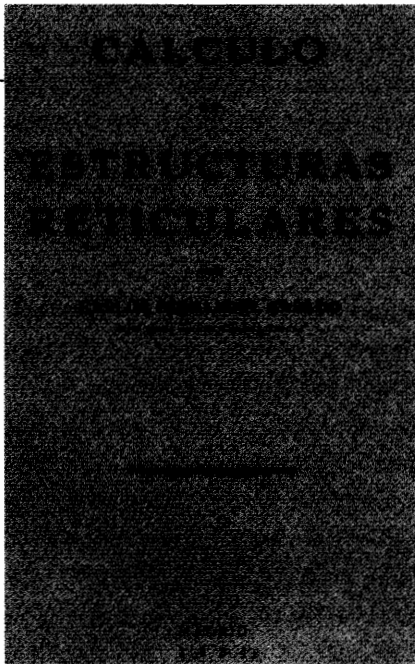
Inició la Colección de Puentes de Altura Estricta en 1933. Ha sido uno de sus trabajos más potentes y más queridos. En ellos consiguió una de sus mejores expresiones formales, con la que se sintió identificado toda la vida: la viga acartelada, tan bien resuelta en estos puentes, ha sido siempre su exlibris, está en la portada de todos sus libros. Hasta que entró de lleno en los puentes pretensados de luces grandes, todos sus puentes, continuos o pórticos, fueron acartelados. *“La afortunada circunstancia de moldear nuestra tensión interna en una de las épocas felices de la vida dio origen a esta colección de Puentes de Altura Estricta”*, son palabras suyas del artículo que escribió sobre la Colección en 1955. Entre los puentes proyectados por él, y las aplicaciones de otros ingenieros, se hicieron más de cuarenta puentes de esta Colección. Lógicamente se terminó su aplicación cuando se impuso el hormigón pretensado; pero todavía en 1967 se terminó el puente de Arganda sobre el río Jarama en la N-III, el último de la Colección, que proyectó el ingeniero V. Oñate. Fue además uno de los últimos que hizo la Jefatura de Puentes y Estructuras del Ministerio de Obras Públicas.

Recuerdo que años después, cuando era profesor de puentes en la Escuela de Ingenieros de Caminos, hacía en algunos cursos una encuesta entre los alumnos para saber si les gustaban más los puentes acartelados o los puentes de intradós curvo. Como todos los



La viga acartelada, que aparece en la portada de sus libros.

Portada de la 1ª edición del libro *Cálculo de Estructuras Reticulares*.



alumnos sabían su preferencia, ganaban por abrumadora mayoría los puentes acartelados.

Mi padre siempre tuvo especial interés por las colecciones de puentes. Hizo otra de puentes de *Tramos de un vano simplemente apoyado*, que se publicó oficialmente por el Ministerio de Obras Públicas en 1942. Con esta colección se hicieron más de cien puentes. Preparó luego otra colección de pasos prefabricados de ferrocarril que presentó al Ministerio, pero no llegó a hacerse oficial. Cuando llegó el hormigón pretensado estuvo mucho tiempo preparando una colección de vigas pretensadas de diferentes luces, pero tampoco llegó a completarla. De todos estos trabajos el mejor fue, sin duda, la *Colección de Puentes de Altura Estricta* que nunca llegó a hacerse oficial, pero que el Ministerio repartió por los servicios de carreteras y se aplicó con frecuencia. Mi padre tenía localizados cincuenta, que publicó en 1955. Pero años después, cuando nos llamaron de Tolosa para hacer el proyecto de unos puentes sobre el río Oria, nos encontramos que uno de los de la ciudad era de la Colección de Puentes de Altura Estricta y no estaba en la lista de mi padre; no sabemos cuántos puede haber que no estén catalogados.

En 1934 publicó su libro *Cálculo de Estructuras Reticulares*, el más conocido de todos los que escribió. Su obsesión por encontrar un método lo más universal posible para calcular estructuras le llevó al del ingeniero americano Hardy Cross, casi desconocido en aquel momento, pero que luego se conoció en todo el mundo como el *método de Cross*, o simplemente el *Cross*. Se lo estudió a fondo y de ese estudio salió el libro, que él mismo publicó y tuvo una enorme difusión. Se hicieron ocho ediciones en España, más una edición en francés, y muchas ediciones piratas, casi todas ellas en Sudamérica. A partir de la segunda edición colaboró con él su hermano menor

José Luis, también ingeniero de caminos, que estudió además ingeniero aeronáutico. Durante varios años tuvieron mucha relación. Después mi tío José Luis se dedicó a la vigilancia de presas, donde estuvo hasta que murió. Sus actividades profesionales se separaron y se veían con menos frecuencia. Recuerdo haber coincidido con él en varios de los viajes que hacíamos por Andalucía a las oficinas de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, sobre todo a Granada y a Córdoba.

El *Cálculo de estructuras reticulares* fue libro de texto en muchas facultades de habla hispana de ingeniería y arquitectura en América, paradójicamente en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid siempre se ignoró. Este libro ha perdido vigencia con los métodos de cálculo mediante ordenador, pero hasta entonces ha servido a muchas generaciones de ingenieros para aprender el método de Cross.

En estos años anteriores a la Guerra Civil, la primera mitad de los 30, tenía mi padre menos de 30 años, pero a pesar de su juventud creo que fueron unos de los más creativos de su vida.

GRACIAS a su afición al esquí y a sus relaciones de Granada conoció en la *Sierra* (en casa siempre hemos llamado así a la Sierra de Guadarrama, como todos los aficionados a ella) a mi madre, Rita María Troyano de los Ríos. Se la presentó Laura de los Ríos, prima de ella e hija de Fernando de los Ríos, que luego se casó en Nueva York, en el exilio, con Francisco García Lorca, hermano del poeta.

Mis padres se casaron en 1934, en el Monasterio del Paular, donde había nacido mi madre cuando sus padres veraneaban allí. Tuvieron cuatro hijos: el mayor, Carlos, nació en 1935; Yo nací en 1938, en plena Guerra Civil; Ritama en 1941, y Juan Pablo en 1942.

En mi familia siempre ha habido una relación muy estrecha con la Sierra de Guadarrama; hemos pasado gran parte de nuestra vida familiar en ella. Mi madre, como ya hemos dicho, nació en el Paular, y pasó muchas temporadas en la Sierra con su familia, principalmente en el Paular y en la cuenca del río Moros. Probablemente hay también en esta atracción una influencia y tradición de la Institución Libre de Enseñanza, cuya proximidad nos viene, entre otras razones,



Mi madre en la Sierra de Guadarrama cerca del Ventorrillo.



Mis padres con los tres hijos mayores.

1952, Camorritos, en la Sierra de Guadarrama.

por el parentesco de mi madre con D. Francisco Giner. Mi padre no perteneció a la Institución sino que la conoció ya de mayor, pero creo que se identificó mucho con ella; se puede decir que, por sus ideas y talante, era un hombre de su órbita. Uno de los ejes de nuestra familia ha sido precisamente el conjunto Institución, Instituto Escuela, donde estudió mi madre, y Colegio Estudio, donde estudiamos los hijos y los nietos.

EL ESTALLIDO de la Guerra Civil sorprendió a mis padres en San Sebastián donde estaban veraneando, porque mi padre tenía obras por esa zona.

El hotel se cerró y nos les quedó otra solución que pasar a Francia donde estaba Fernando de los Ríos. En París estuvieron poco tiempo y decidieron volverse a Madrid. Nunca se quisieron quedar fuera de España.

Siempre recuerdo que mi padre me contó que, estando en París, tuvo dos versiones de la Guerra, una de cada bando, que leyó u oyó por la radio. De un lado el discurso de Indalecio Prieto que se titulaba *Piedad para el vencido*, que intentaba por todos los medios frenar la ola de violencia que se había desatado, y denunciar a los grupos incontrolados que mataban sin ningún apoyo gubernamental. Y del otro lado un discurso del General Queipo de Llano que decía que: “por cada *nacional* que mataran los *rojos*, ellos matarían diez, y si no encontraban bastantes *rojos*, los sacarían de las tumbas para volverlos a fusilar”. Sólo con esta primera visión no se pueden definir los dos bandos de la Guerra Civil, pero sí fue una primera impresión que le situó en ella.

La decisión de volver a Madrid desde Francia ha sido uno de los hechos que más daño le hicieron después de la Guerra. Recuerdo que antes de hacer la milicia universitaria tuve que ir, como todo el mundo, a ver a un policía para contarle mis antecedentes políticos y los de mi familia. Una de las cosas que preguntaban era sobre la Guerra; cuando le dije que mi padre había pasado de San Sebastián a Francia y de Francia a Madrid lo escribió todo en el expediente; pero luego no tuvo consecuencias aparentes; eran ya los últimos años 50.



Dibujo de Benjamín Palencia.

Una vez en Madrid, la situación fue muy dura. Entró en una unidad militar dedicada a la construcción de refugios y en ella estuvo toda la Guerra. Recuerdo de pequeño, en uno de los muchos domingos que salíamos al campo en un Topolino de Huarte y Cía, haber estado con él en uno de los refugios que había construido entonces; creo que estaba cerca de Villaviciosa de Odón. Estaba medio roto y se veían las armaduras. Mi padre me dijo que era de hormigón armado y esas dos palabras se me quedaron grabadas.

Vivían, durante la Guerra, al lado de Benjamín Palencia, el pintor, con quien mantuvieron siempre una estrecha amistad. De entonces son los dibujos que hizo a mi padre, los míos de recién nacido, y una acuarela que dedicó a mi madre y siempre ha estado en lugar muy visible de nuestra casa.

La Guerra en Madrid fue especialmente dura y ellos la sufrieron igual que todos los habitantes de la ciudad, pero creo que la época más amarga que vivió mi padre fue la Posguerra.

Recuerdo su relato del fin de la Guerra en Madrid. Cuando entraron los *nacionales* se tuvo que presentar en su unidad, creo que fue de paisano, y su gran sorpresa fue encontrarse a sus compañeros de unidad vestidos de falangistas; se habían apuntado a la falange clandestina en Madrid durante la Guerra, y nunca habían dicho nada. Tuvo la suerte de que el militar que se hizo cargo de la unidad de refugios había conocido a su padre, y por eso le dejó marchar; pero no tenía documentación alguna.

En la Posguerra se le fueron cerrando todos los caminos profesionales que intentó. Encontró trabajo en la sección de proyectos de un organismo recién creado, que dirigía Suances y luego se convirtió en el I.N.I. Recién entrado, un ingeniero conocido se sorprendió de verlo allí; a los pocos días le echaron sin ninguna explicación. Intentó entrar en la Escuela de profesor, y entonces le formaron expediente y le *depuraron*. Le postergaron cuarenta puestos en el escalafón, y ello suponía que no podía ser profesor ni funcionario, porque para ello se exigía “no tener ni la más leve tacha en relación con el movimiento triunfante”. El tribunal de depuración estaba formado por Alfonso Peña-Boeuf y Bernardo Granda, entonces minis-

tro el primero y subsecretario el segundo, de Obras Públicas, y también profesores de la Escuela en la rama de estructuras.

Muchos compañeros le volvieron la espalda. Como él mismo ha escrito: *“Hay que ponerse en el año 1940 para darse cuenta de cómo el envenenamiento político reinante dió al traste con la legendaria masonería de los Ingenieros de Caminos”*.

Hubo una persona que en ese momento le dió todo su apoyo y eso fue muy importante en su vida: Félix Huarte. Vino a Madrid desde Pamplona a mediados de 1940, y este encuentro lo relató mi padre en un homenaje a D. Félix publicado en la Revista de Arquitectura en 1971. Recordaba textualmente sus palabras porque para él fueron decisivas: *“Casado, sus compañeros le quieren a usted mal, ha salido una orden en el Boletín Oficial imponiéndole a usted una sanción.... Usted cuenta conmigo y con la empresa, donde puede usted seguir dedicándose a proyectar y construir sus estructuras”*. Esto fue fundamental en su vida porque *“si en esa dirección se me hubieran cerrado las puertas, hubiera tenido que emigrar”*.

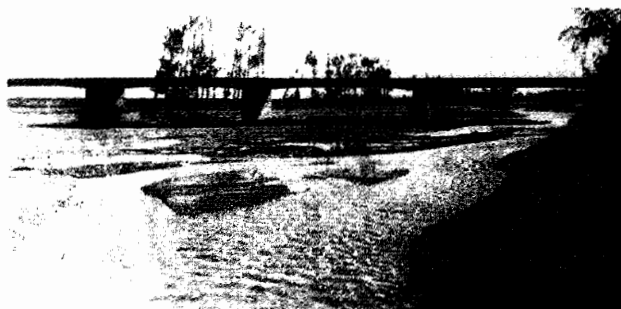
Es importante destacar el coraje y la generosidad de Félix Huarte, porque reanudar sus actividades en Madrid *conmigo de ingeniero único, tarado políticamente en aquel ambiente de postguerra* era muy arriesgado en aquel momento. Esto le dió a mi padre la suficiente moral para reaccionar *“cum ira est cum studio”*, como el mismo escribió, y salir adelante.

Igual que en su vida profesional, la identificación de mi familia con la República les planteó a mis padres muchos problemas en sus relaciones sociales. Creo que ese aislamiento a que se vieron sometidos después de la Guerra fue una de las razones por las que hemos mantenido toda la vida una relación muy estrecha, en épocas casi como una sola familia, con la de mi tía Fernanda, hermana mayor de mi madre. Ser sobrinos de Fernando de los Ríos, no era una buena presentación en aquel momento. Mi tía Fernanda estaba casada con Manuel de Terán, geógrafo, que fue catedrático de la Universidad de Madrid, y académico de la Historia y de la Lengua. Siempre hubo una buena relación entre mi padre y él.

Desde 1948 a 1954 publicó mi padre seis artículos en la revista



Nave principal del taller de montaje del INTA en Torrejón. 1944.



Puente sobre el río Guadalfeo cerca de Salobreña.

Estudios Geográficos que dirigía mi tío Manuel, con un título común: *Expresión geográfica de las obras del ingeniero*, donde se analizaban, entre otros temas, los ambientales, que luego han pasado a ser básicos en todo lo que se denomina, en mi opinión con poca fortuna, impacto ambiental. Este trabajo fue uno de los que seleccionó para hacer el libro *Arquitectura del Ingeniero* del que luego hablaremos.

EN 1941 publicó su segundo libro, *Resistencia, libro el más querido pues para mí fue simbólico*. En él había trabajado durante la Guerra y lo terminó poco después. Es más teórico que el *Cálculo de Estructuras Reticulares* y por ello no tuvo tanta difusión. Se hicieron dos ediciones.

Poco a poco su vida profesional fue tomando ritmo en la empresa Huarte y Cía. En 1944, en colaboración con Ildefonso Sánchez del Río, un ingeniero asturiano que siempre fue amigo suyo, ganaron el concurso de proyecto y construcción de un taller de montaje de aviones para el INTA en Torrejón. En 1945 ganaron la obra del Estadio de Chamartín en Madrid, cambiando la solución de la estructura, haciéndola más limpia y más barata. Con el sistema de presentarse a las obras ofreciendo un cambio de estructura para abaratarla y mejorarla, ganaron muchas obras, y así la empresa fue creciendo hasta convertirse en una de las grandes de aquel momento.

MI PADRE TUVO siempre una capacidad de trabajo extraordinaria, yo siempre lo recuerdo trabajando, en cualquier lugar donde estuviera, y al mismo tiempo tenía también una gran capacidad para simultanear diversas actividades. En los años 60, mi padre trabajaba en Huarte y Cía, en la Jefatura de Puentes, era profesor en la Escuela de Ingenieros de Caminos, y se lanzó a montar una oficina de proyectos. A todas estas actividades hay que sumar sus trabajos históricos y arqueológicos a los que dedicaba un tiempo considerable. Como ejemplo se puede citar el estudio de la conducción romana de aguas de Almuñécar publicado en el Archivo Español de Arqueología en 1949, que estudió gracias a los viajes que hizo al puente sobre el río Guadalfeo cerca de Salobreña. En esa conducción descubrió un sifón romano para llevar el agua al depósito final, uno de los primeros sifo-



1944. En el puente sobre el río Guadalfeo.

nes romanos que se han conocido. Este estudio fue el principio de una de las constantes de la vida de mi padre: su admiración e interés por la ingeniería romana, que dió lugar a algunos de sus mejores trabajos.

También mantuvo toda su vida una enorme capacidad de estudio. Prueba de ello es que en 1973, con 68 años, terminó la carrera de Derecho, que creo que había empezado poco después de la Guerra. Más tarde empezó a estudiar psicología y creo que aprobó algunas asignaturas, pero no llegó a terminarla.

Otra actividad que le ocupó mucho tiempo a lo largo de su vida fue escribir libros y artículos. Si se repasa su bibliografía se puede ver que fueron muchos y de temas muy diversos: desde los de radio, como los catorce artículos que publicó en la Revista de Obras Públicas entre 1927 y 1929 sobre radiofaros, hasta los de filosofía, como el *Enfoque de la estética desde la filosofía de Xavier Zubiri* publicado en Realitas I. Seminario de Xavier Zubiri, en 1974. En grandes números se puede decir que publicó 11 libros, y más de 150 trabajos y artículos en diferentes revistas, publicaciones no periódicas y ponencias de Congresos. Algunos son descripciones de obras, y por tanto rápidos de hacer. Otros, son trabajos de muchas páginas que requirieron mucho tiempo de elaboración. Hemos añadido al final de este escrito una bibliografía de sus publicaciones, porque resulta muy ilustrativa de su capacidad de trabajo y de su interés por temas muy diversos.

Algunos de los principales artículos y trabajos que hizo a lo largo de su vida los reunió en un libro: *Arquitectura del Ingeniero*, que ilustró con muchas fotografías. Empieza con *Ingeniería: maquinismo y arquitectura*, de la Noche de Gallo, ya citada, celebrada el 28 de octubre de 1928, y termina con *Tres momentos del Ingeniero en la Historia*, de 1970. Este libro se publicó en 1975.

Tenía además un constante interés por conocer lo que habían hecho y estaban haciendo los demás ingenieros, lo que no es muy frecuente en esta profesión. Resultado de ello son los cinco artículos que publicó en la revista *Ingeniería de la Construcción* sobre las estructuras del año anterior en el mundo. Fueron los años 1930 a 1935.

Posteriormente en la Revista de Obras Públicas hizo siete artículos de los puentes de fábrica en el mundo desde 1962 a 1968, y muchos otros artículos sobre temas generales como *El hormigón pretensado en puentes de ferrocarril*, *Ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos*, etc.

Esta diversificación de actividades me ha planteado serias dificultades para hacer una biografía cronológicamente lineal, porque se mezclarían unas actividades con otras. Me ha parecido más claro relatar por separado cada una de ellas a partir de ese momento, finales de los años 40, aunque esto obligue a retroceder varias veces en el tiempo.

RETOMAMOS su trabajo en Huarte y Cía, que fue una constante a lo largo de toda su vida profesional, hasta que dejó de trabajar por enfermedad. Una gran parte de sus obras las hizo en esta constructora. Creo que se puede decir que Huarte y Cía, fue durante muchos años una empresa de alto nivel técnico, como han sido muchas de las grandes empresas europeas, salvando las distancias, porque el desarrollo tecnológico de la construcción en España no estaba en aquella época al nivel de Francia o Alemania.

Como hemos dicho, su relación con Félix Huarte, director de la empresa durante muchos años, fue siempre buena. Únicamente tuvieron un choque, y debió ser duro, por lo que mi padre contó entonces y escribió después. Fue con motivo de la obra de la Cruz de Cuelgamuros, el símbolo de la dictadura de Franco.

Desde el concurso de proyectos de la Cruz, que se convocó poco después de la Guerra, se había extendido la idea de que los brazos, unos voladizos que tenían 20 metros, eran de una dificultad técnica casi insuperable. Alguno de los concursantes planteó un sudario para evitar los voladizos de los brazos. Siempre los grandes voladizos han producido mucha impresión, incluso entre ingenieros, hasta que los voladizos sucesivos los han convertido en un procedimiento de construcción de uso normal.

Cuando salió el concurso, Félix Huarte tenía mucho interés en hacerla. Estudiaron la obra y la ganaron, entre otras razones, por la

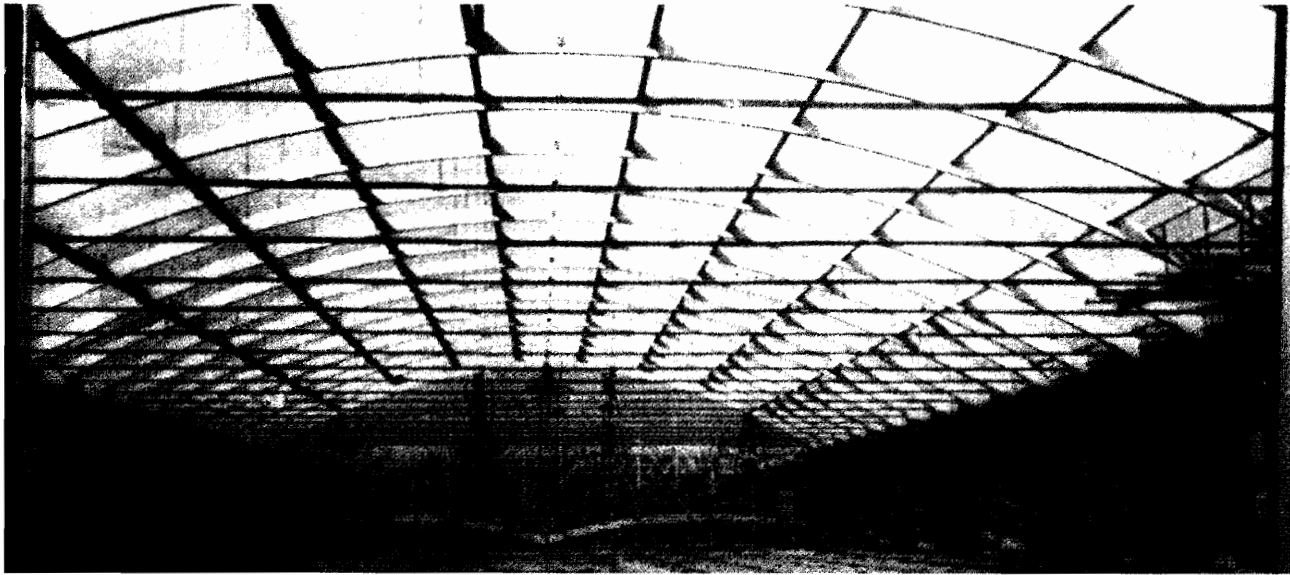


Cerchas prefabricadas de la Escuela de Ingenieros de Montes. Madrid, 1942.

capacidad técnica de la empresa, que se valoró especialmente en ese caso. Hasta ese momento mi padre se reservó su opinión sobre la Cruz, pero una vez ganada la obra le dijo a D. Félix que él no se hacía cargo ni del proyecto ni de la construcción; era incompatible con sus ideas. Además no consideraba que fuera un proyecto especialmente difícil, y por tanto que él no estuviera, no era un problema grave. A D. Félix no le gustó nada la posición de mi padre, pero en poco tiempo las relaciones se normalizaron. En una visita que hicieron a Alemania poco después, estuvieron sobre los voladizos del puente de los Nibelungos en Worms, sobre el Rin, que tenían 50 metros, y allí le pudo convencer que los voladizos de la Cruz, que tenían 20 metros y mucho mayor canto, no eran un problema. A la obra fue, digamos que clandestinamente, en los momentos más comprometidos de la misma.

UNA de las actividades que más le interesó en la empresa fue la prefabricación, que desarrollaron fundamentalmente en naves industriales. Siempre dió un valor primordial a la prefabricación y, de hecho, igual que en las naves industriales la desarrolló en los puentes, como luego veremos. Hicieron su primera estructura prefabricada en 1942: las cerchas de la cubierta de la Escuela de Ingenieros de Montes. A partir de esta obra se hicieron muchas naves industriales prefabricadas, y en este campo consiguió Huarte un mercado importante. De las cubiertas prefabricadas una de las que tuvo mayor importancia para él fue la estación de trolebuses de Madrid. Es una cubierta formada por arcos de hormigón de 37 metros de luz, construida en 1950. Recuerdo que estábamos en la Sierra porque era verano, y salió disparado para Madrid porque se iba a iniciar el montaje. Le pregunté si era una obra importante y me contestó que era la operación más difícil de todas las que había hecho hasta entonces. La fotografía de la nave de trolebuses en construcción ha sido también una de las que siempre tenía en su despacho.

La más grande de todas las obras prefabricadas que hicieron fue la de los talleres de la Siderúrgica de Avilés que eran varias naves de una longitud extraordinaria; allí se hicieron 182.000 m<sup>2</sup> de naves prefabricadas.



Arcos de la estación de trolebuses de Madrid.

En la factoría de Avilés hizo también sus primeras obras pretensadas importantes. Fueron unas vigas trianguladas de 29 metros de luz máxima, que servían para comunicar naves adyacentes, y que debían soportar la cubierta y los puentes grúa de las naves. Siempre contaba que les costó tomar la decisión de hacerlas pretensadas, porque era una técnica bastante nueva para ellos y eran unos elementos de gran envergadura; pero al final se decidieron, y las vigas no tuvieron más problemas que los de poner a punto una técnica que todavía no conocían a fondo.

Estas vigas se hicieron en 1958. Mi padre tenía entonces 53 años, una edad en que es difícil empezar con una técnica nueva. Pero él se lanzó de lleno al pretensado y, como hemos dicho, tenía una gran capacidad de estudio. Este enorme esfuerzo dió como resultado que algunas de sus mejores obras fueran puentes de hormigón pretensado. Escribió el libro de *Puentes de hormigón armado pretensado*, una obra gigante en dos tomos que se publicaron en 1961 y en 1965. Igual que el *Cálculo de estructuras reticulares* fue el resultado de su estudio del Método de Cross, este nuevo libro fue el de su estudio del pretensado.

Vigas trianguladas de la factoría de Avilés, 1958.





En una de las vigas trianguladas de Avilés, 1957.

Puente de Almodóvar del Río, 1962.



Con Huarte y Cía siguió haciendo obras pretensadas, entre ellas el puente de Almodóvar del Río, terminado en 1962, una de las más importantes y más innovadoras que construyó. Es un puente *cantilever*, acartelado como los de altura estricta, de 70 metros de luz. Las ménsulas se construyeron por voladizos sucesivos y una vez terminadas se montaron las vigas del tramo central. Fue el puente viga de mayor luz en España cuando se terminó.

Su mayor innovación fue hacer los voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas en vez de hormigonarlos *in situ* mediante carro de avance. En Rusia se había construido anteriormente, en 1961, el puente de Kranoholmsky, de 148 metros de luz con dovelas prefabricadas, pero entonces no lo conocía. En esta decisión influyó decisivamente la tradición que había en España, heredada de Francia, de construir las vigas pretensadas por dovelas, que luego se unían con juntas húmedas y se pretensaban. Una de las obras pretensadas más grandes que había hecho Huarte y Cía anteriormente, fue la cubierta de las vías de ferrocarril de la calle Aragón en Barcelona, terminada en 1959, que se hizo con vigas prefabricadas de 15 metros de luz, construidas por dovelas fabricadas fuera de la ciudad; se llevaban al tajo, se montaban sobre una cimbra y se pretensaban. Esta tradición, que en definitiva es conocimiento, unida a su interés por la prefabri-

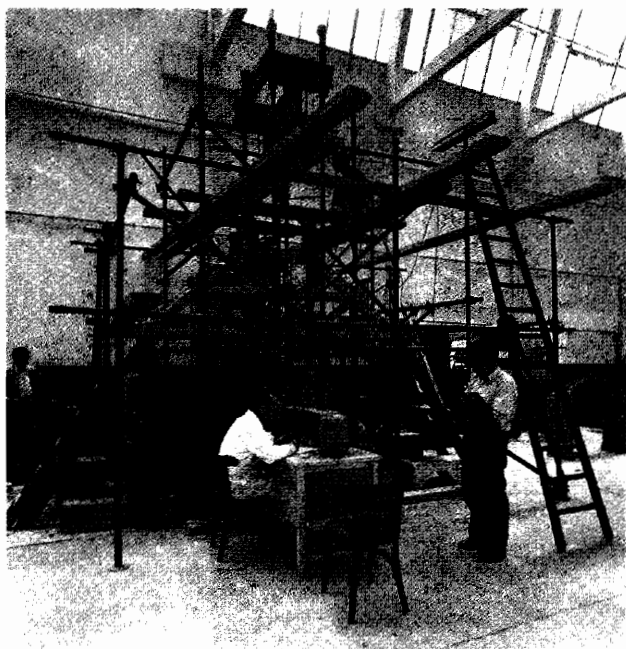
Parque de dovelas de la cubierta de la calle Aragón. Barcelona, 1959.



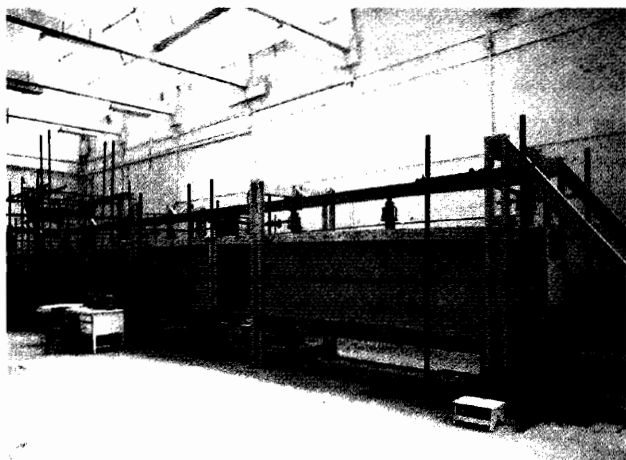
cación, le llevó a plantear los voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas de poco peso, que se montaban mediante un blondin. Este fue el primero de una serie de puentes de voladizos sucesivos contruidos con dovelas prefabricadas que luego veremos.

El puente de Almodóvar se construyó a la vez que el de Choysile-Roi en París, el primer puente de dovelas prefabricadas de la empresa francesa Campenon Bernard, que luego desarrolló y extendió este sistema de construcción.

UNA actividad adicional dentro de Huarte y Cía fue el laboratorio de modelos reducidos para ensayo de estructuras, unido al laboratorio general de ensayos y control de materiales de la empresa. El tema experimental y de investigación fue otro de los que siempre le interesó especialmente. Se inició en él con la fotoelasticidad, sobre la que publicó cuatro artículos en 1932 en la Revista de Obras Públicas, a partir de un viaje de estudios que hizo a París en 1930. Envió además una memoria al Director de la Escuela de Caminos, y el resultado fue que se adquirió un aparato, que llegó a España en 1935. Después de la Guerra el aparato se había quedado anticuado, y nunca se utilizó.



Ensayo del modelo reducido de una viga triangulada de la factoría de Avilés.



Ensayo de una viga a escala real de la cubierta de la calle Aragón.

En el puente de El Pardo consiguió que se montaran auscultadores, creo que de cuerda vibrante, para investigar sobre el comportamiento del puente. Pero durante la Guerra Civil alguien debió ver los cables y pensar que era una instalación para volarlo; los arrancaron y con ello se terminaron las posibilidades de investigar en ese puente.

En los años 1943 a 1946 tuvo relación con el laboratorio de la Dirección de Aeropuertos del Ministerio del Aire, y consiguió adquirir un nuevo aparato de fotoelasticidad con el que sí se hicieron varios estudios.

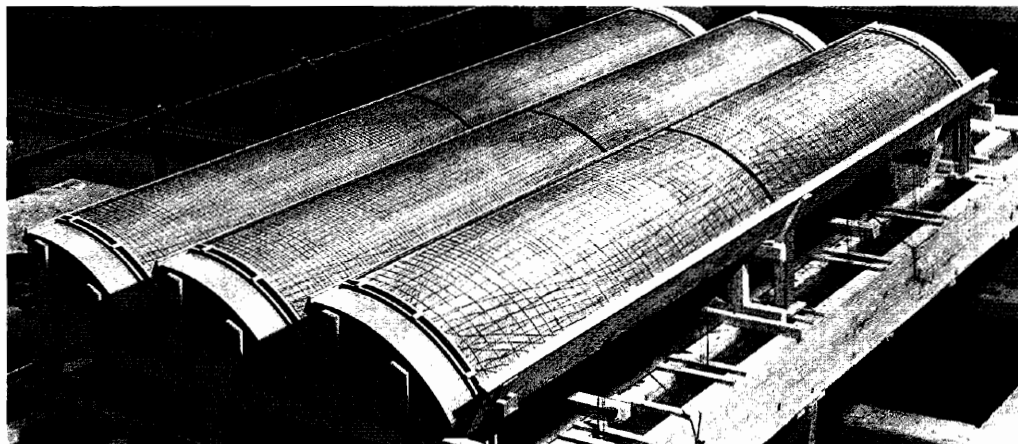
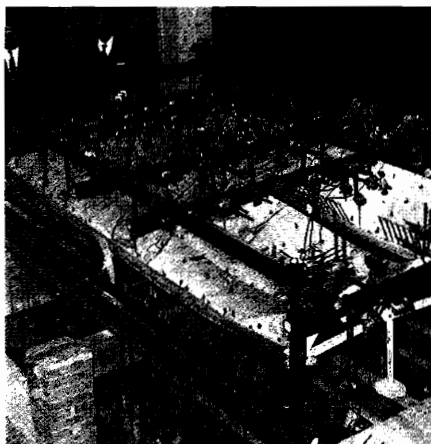
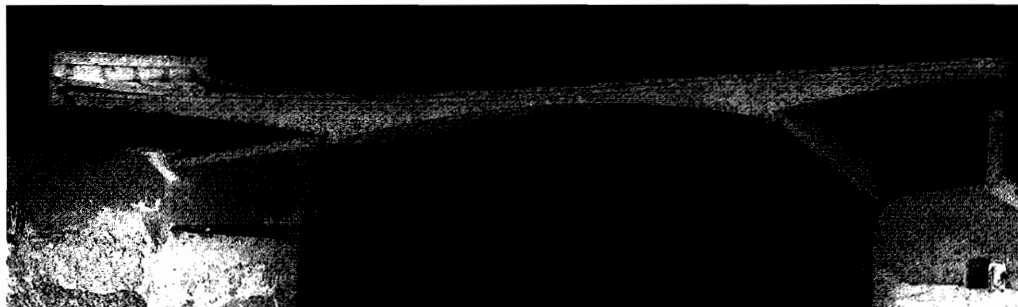
En 1952 planteó a D. Félix Huarte la idea de montar un laboratorio de ensayo de estructuras mediante modelos reducidos dentro de la empresa, y Huarte estuvo de acuerdo. En él se hicieron muchos modelos reducidos y también se probaron estructuras en su verdadera magnitud.

Entre los primeros se pueden destacar los modelos de las vigas trianguladas de Avilés hechos con microhormigón pretensado, de tamaño considerable, que sirvieron para conocer mejor su comportamiento, porque, como hemos dicho, fue la primera gran estructura pretensada que proyectó. Los resultados de los modelos se compararon con las pruebas hechas en las vigas reales, y el resultado fue muy positivo.

Hay que tener en cuenta que en aquella época, sin la ayuda del ordenador, los resultados del modelo reducido eran un apoyo muy significativo al cálculo que podemos llamar manual, y que de hecho se hacía con aquellas máquinas Facit, tan extendidas.

Entre los ensayos que se hicieron con elementos en su verdadera magnitud se puede destacar el de una viga de la cubierta de la calle Aragón en Barcelona a la que ya nos hemos referido. La viga, hecha con dovelas unidas con juntas húmedas, no se pudo llevar hasta rotura, pero sí a una situación de fuerte agrietamiento con apertura apreciable de las juntas.

Se hicieron muchos otros modelos, casi todos ellos de microhormigón. Uno de los más interesantes fue el del puente de la Chantrea sobre el río Arga en Pamplona, un arco biarticulado que se llevó a rotura.



Modelo microhormigón del puente de la Chantrea.

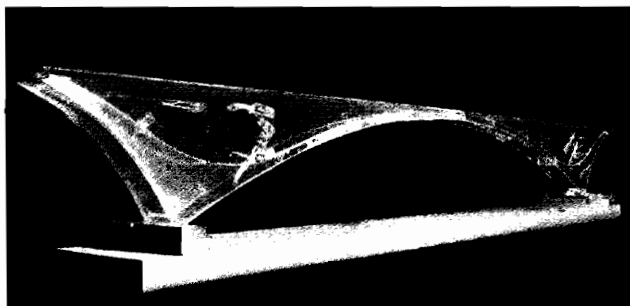
El modelo del puente de la Chantrea después de la rotura.

Modelo de una cubierta laminar después de la rotura. Al fondo mi padre y Luis Huarte.

Armadura del modelo de una cubierta laminar en diente de Sierra.

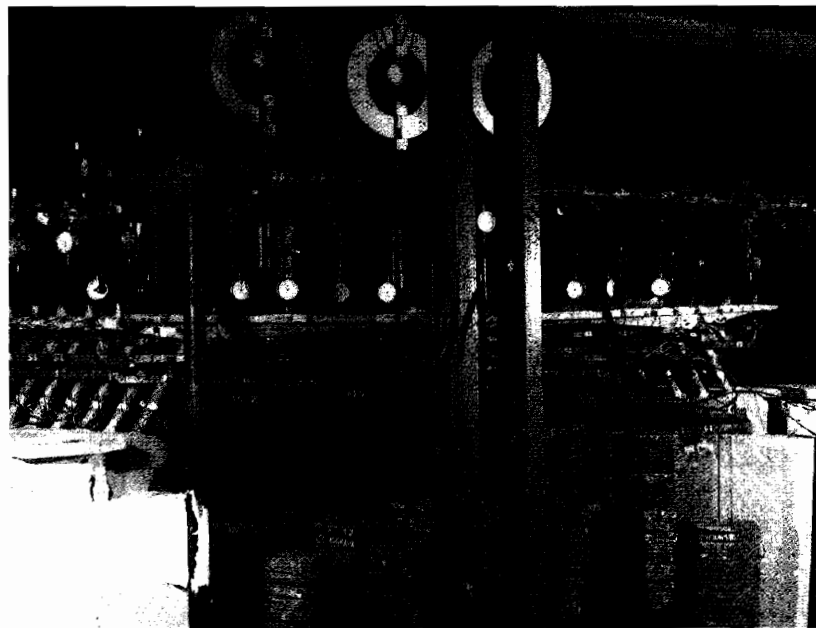
Unos ensayos que se hacían con frecuencia eran las pruebas de forjados comerciales para conocer su comportamiento.

En 1966, al crearse la oficina de proyectos Carlos Fernández Casado S.A. en la que participaba Huarte y Cía, el laboratorio pasó a formar parte de ella. De esta época se pueden destacar dos modelos, el primero es del paso superior de la Carretera de Galapagar sobre la N-VI, un pórtico de células triangulares muy oblicuo de 48 metros de luz. Este modelo se hizo en la época del traspaso del laboratorio. Era de microhormigón pretensado que sirvió, entre otras cosas, para estudiar el efecto de la variación de cargas en las péndolas, para reducir la variación de momentos debida a la oblicuidad. El segundo, es el del arco tímpano del puente del Caudal en Mieres, de 70 metros de luz, que se hizo en plástico y sirvió para conocer la distribución de tensiones en los tímpanos.



Modelo de plástico del puente del Caudal, Mieres.

Modelo del paso superior de Galapagar en la carretera N-VI.



Pero nuestra oficina de proyectos no se planteó el método experimental como base de cálculo de los puentes, como se lo había planteado, por ejemplo, el ingeniero portugués Edgar Cardoso. Eran, por tanto, estudios adicionales de investigación en determinados proyectos, que suponían un costo excesivo, y la oficina no tenía capacidad económica para ello. Esta fue la razón de que el laboratorio se fuera extinguiendo poco a poco hasta desaparecer, con gran disgusto de mi padre.

VOLVEMOS a los años 40 para referirnos a otra de sus principales actividades: sus proyectos particulares de puentes que le encargaban diversos organismos, y su trabajo como ingeniero de la Jefatura de Puentes y Estructuras.

Pasada la Guerra, además de su trabajo en Huarte y Cía le fueron llegando algunos proyectos de puentes, que eran los que más le interesaban. Como hemos visto, en 1944 proyectó la presa y los acueductos del Salto de la Retorna en el río Najerilla. Ese mismo año pro-



Puente sobre el río Besós en construcción.

Puente de Fuentidueña del Tajo.

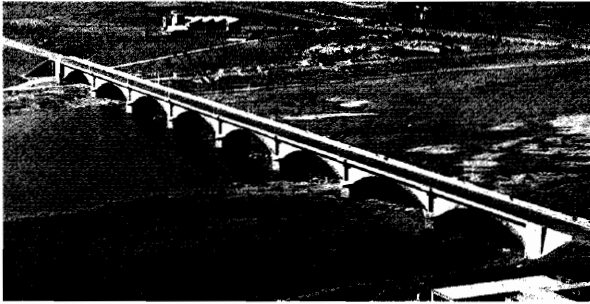
En la prueba de carga de Fuentidueña, 1959.

yectó para la Jefatura de Puentes y Estructuras, el puente sobre el río Besós en Barcelona, con tres vanos, el central de 45 metros de luz, el mayor de los que hizo de hormigón armado, y en su momento el mayor de los puentes viga de hormigón de España. Poco después proyectó para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir el puente de Salobreña sobre el río Guadalfeo con cinco vanos de 23,50 metros de luz. Los dos eran de la Colección de Puentes de Altura Estricta a la que ya nos hemos referido.

Pero esos proyectos esporádicos no le parecían suficientes, quería proyectar más puentes, y para ello pidió el ingreso en el Estado para entrar en la Jefatura de Puentes y Estructuras del Ministerio de Obras Públicas. Empezó a trabajar en la Jefatura en 1949, y creo que para ello tuvo que pedir que le quitaran la sanción que le pusieron después de la Guerra, como hemos visto, aunque si mal no recuerdo la recuperación simbólica de los puestos del Escalafón no se la dieron hasta que fue catedrático de la Escuela de Caminos en 1961.

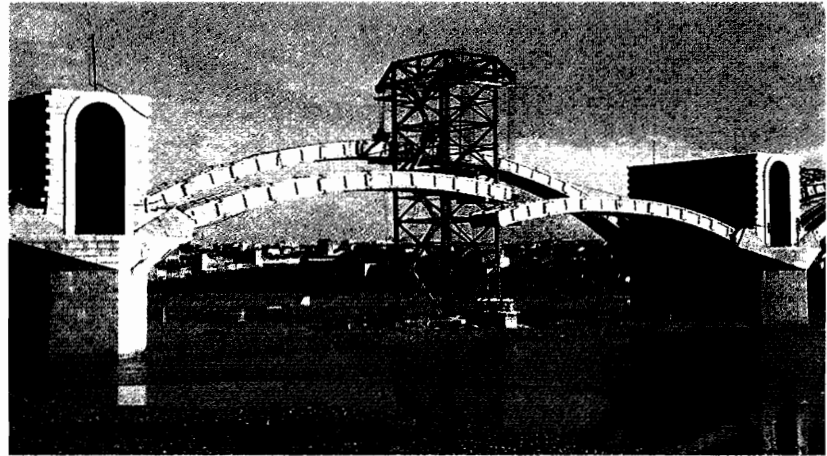
Estuvo en la Jefatura como funcionario hasta que en 1963 tuvo que dejarla porque le exigían jornada completa, pero siguió como ingeniero asesor, proyectando puentes para la Jefatura hasta que se disolvió en 1968. En ella proyectó más de 30 puentes y dirigió las obras de la mayoría de ellos. Durante muchos años fue segundo jefe; nunca quiso ser primero, porque el primero, además de ser necesaria dedicación completa, no hacía proyectos, sólo los informaba.

Cuando entró en la Jefatura había una fuerte escasez de hierro en España, y por ello en la Jefatura era obligado proyectar puentes arco de hormigón en masa, o con cuantías mínimas de armadura. Es lo que mi padre ha llamado en varias ocasiones la época de los “puentes anacrónicos”. El primero que hizo en la Jefatura fue el de Fuentidueña del Tajo, sobre este río, con tres arcos de hormigón en masa. De esta serie de puentes arco, que es bastante numerosa, el más importante es el de Mérida sobre el río Guadiana, con ocho arcos de 60 metros de luz, terminado en 1959. Es un puente especialmente cuidado, con los tímpanos chapados en granito, y con arquillos de aligeramiento sobre pilas, igual que el puente romano, que se ve desde él. Es una



Puente sobre el río Guadiana en Mérida.  
Arcos de 60 m de luz.

Montaje de los anillos prefabricados de Mérida.

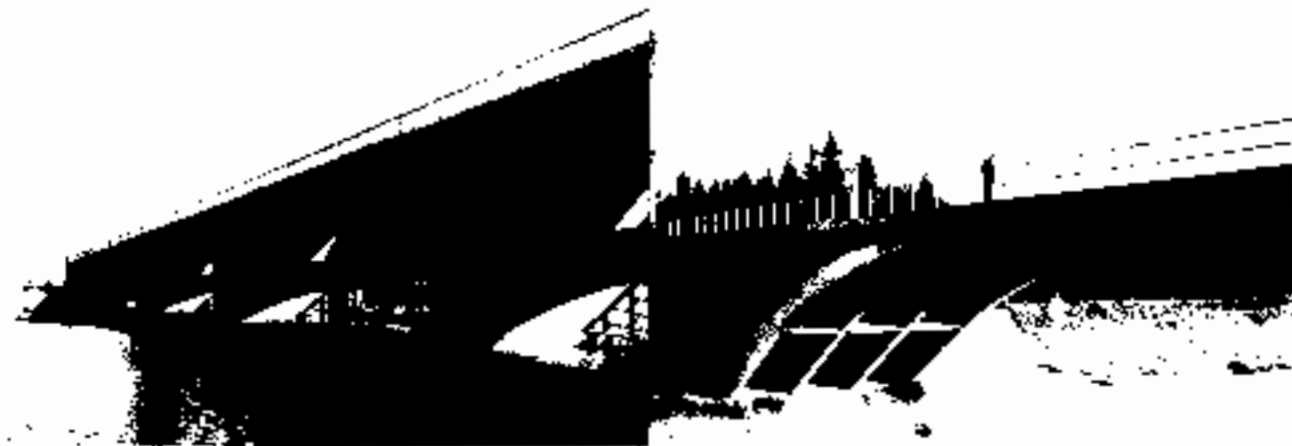


pena que esté tan sucio actualmente, porque le quita gran parte de su valor. Es un puente al que siempre le dió una importancia especial, entre otras razones por estar al lado del romano.

La formación de mi padre como ingeniero de proyectos en una empresa constructora le dió una dimensión de constructor, o lo que es lo mismo, tuvo siempre un especial interés por los procedimientos de construcción, y dentro de ellos, como hemos visto, por la prefabricación.

El acueducto de Najerilla, al que ya nos hemos referido, se construyó con autocimbra a base de armadura rígida. Es el sistema Melán que en España introdujo J.E. Ribera.

En el puente de Mérida se planteó la prefabricación de los arcos. Como eran de hormigón casi en masa, lo que hizo fue prefabricar unos anillos de hormigón iniciales donde se concentraba la armadura. Estos anillos se hacían en dos piezas y se montaban formando arcos triarticulados. Sobre ellos se hormigonaba el resto de las bóvedas, que eran biempotradas y por tanto se hormigonaban las articulaciones. Este procedimiento se puede considerar que es análogo al de Melán, pero utilizando una autocimbra de hormigón, y por tanto no hay exceso de hierro, principal problema del sistema de armadura rígida.



Puente sobre el río Ojuel en el hueco

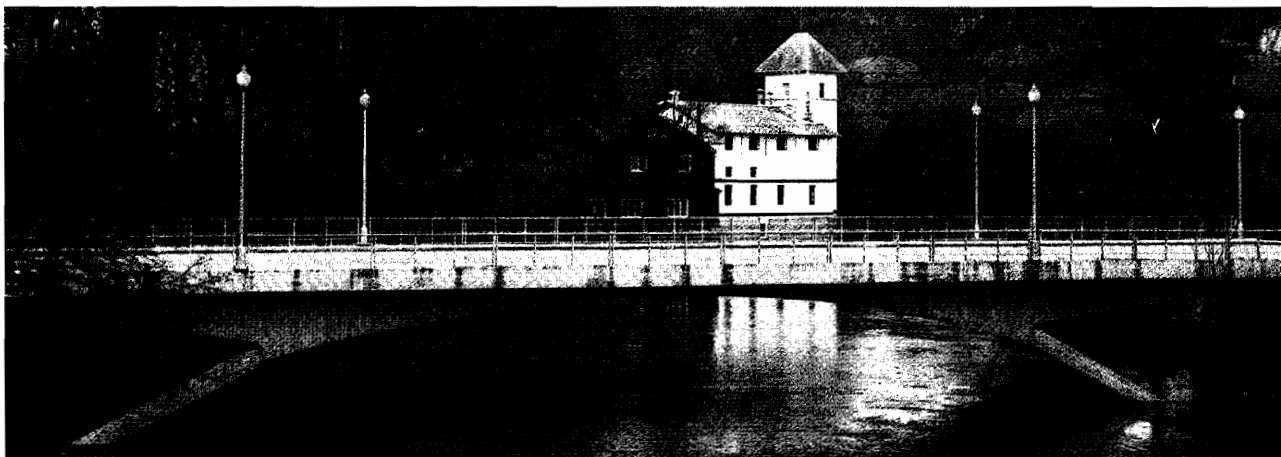
Puente sobre el nacimiento del rancho de Cubillas

Los arillos se subían primero a los salizeres y después, cuando los mediante una torre central se subían a su posición definitiva.

Otro arco donde utilizó la prefabricación fue en el de la carretera de Granada sobre el abanico del embalse de Cubillas, que proyectó para la Confederación Hidrográfica del Guadaluquivir. Es un arco impario de 50 metros de luz, en el que se prefabricaron los semiarillos que formaban el borde interior del arco. Se montaron igual que en Mérida, sobre una torre central y sobre salizeres, formando un arco de tres articulaciones, sobre ellos se hormigonaron los tímpanos y la losa superior, y se cerraron las articulaciones. Se terminó en 1954.

La misma solución de Cubillas, pero con 70 metros de luz, es el puente sobre el río Guada, en Mérida proyectado para la Jefatura de Puertos. El procedimiento de construcción fue el mismo, únicamente fue necesario introducir unos tirantes en los semiarillos para que resistieran su propio peso hasta que se cerrara el arco. Se terminó en 1968.

También se prefabricaron los arcos del acueducto del pantano de Cubillas, con vanos de 20 metros de luz. En este caso se prefabricaron los arillos completos de los arcos y se montaban con grúa. Sobre ellos se hormigonaba la caja.



Puente de la Chantrea sobre el río Argá en Pamplona.

Montaje del tramo central del arco del puente de la Chantrea.



Otro puente arco prefabricado fue el de la Chantrea sobre el río Argá en Pamplona, de 60 metros de luz con fuerte esviaje, que hizo con Huarte y Cía. Más que un arco, tanto por su estructura como por su construcción, se debe considerar un pórtico de pilas inclinadas, aunque está precisamente en el límite entre ambas estructuras. Primero se montaron las pilas inclinadas, y sobre ellas el tablero, por cuchillos completos, incluido el vano sobre las pilas inclinadas y los laterales. Se terminó en 1961. El acueducto sobre el río Alagón fue uno de sus últimos puentes arco. Tiene cuatro vanos de 40 metros de luz, con arcos delgados tipo Maillart, rigidizados por la caja de la conducción. Es una solución ideal para los acueductos, porque se tiene desde origen la viga de rigidez con la caja de la conducción, y además la sobrecarga es siempre uniforme. Se terminó en 1966.

Creo que mi padre siempre les dio mayor importancia a sus Puentes de Altura Estricta; pero, a pesar de ello, el conjunto de los arcos que proyectó es una parte primordial de su obra. Aunque sus luces no son muy grandes -el mayor tiene 70 metros- tienen una gran riqueza y variedad, tanto en sus expresiones formales, como en los procedimientos de construcción que utilizó.

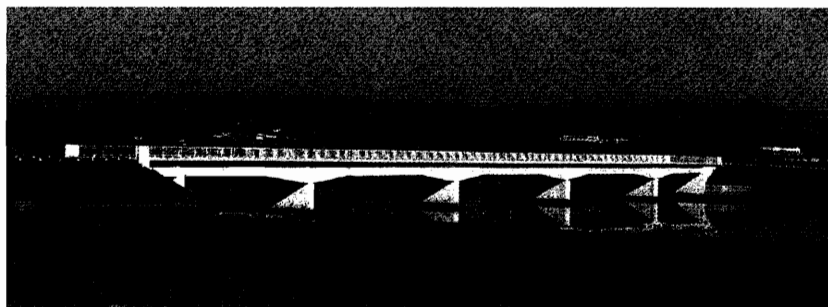
Poco a poco la escasez de hierro se fue superando y se pudieron hacer puentes de hormigón armado y luego de hormigón pretensado. De hormigón armado hizo el del río Palmones, cerca de



Fotografía bajo el antiguo puente de Palmones, 1952.

Puente sobre el río Palmones cerca de Algeciras.

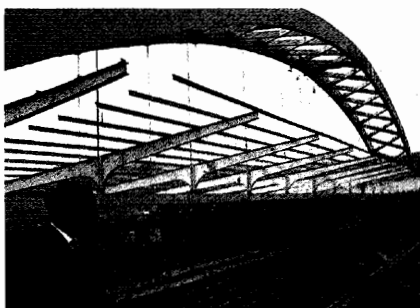
Puente sobre la dársena del Guadalquivir, Sevilla.



Algeciras, de la Colección de Puentes de Altura Estricta, uno de los mayores y más bonitos. Tiene tres vanos principales de 30 metros de luz y se terminó en 1954.

Posteriormente, se empezaron a hacer en la Jefatura puentes de hormigón pretensado. El primero de los que hizo fue el del río Tinto, con tres vanos de vigas simplemente apoyadas de 35 metros de luz. El puente más grande que proyectó en la Jefatura fue el de la dársena del Guadalquivir en Sevilla, con dos vanos de 55 metros de luz, construido con dovelas prefabricadas de 80 toneladas en doble voladizo. Este puente se planteó inicialmente como un puente giratorio. Recuerdo los primeros estudios que hizo de él, con tablero de aluminio y una pila central para el giro con sección dodecagonal, igual que la Torre del Oro del puerto de Sevilla.

El proyecto se rehizo luego en Carlos Fernández Casado S.A., y posteriormente los ingenieros de la empresa constructora plantearon muchos conflictos hasta que se terminó la obra. Fue una de las peleas más desagradables que tuvo en su vida profesional.



En la obra del estadio San Mamés, 1954.

ADEMÁS de los trabajos fijos, esporádicamente siguió haciendo proyectos particulares. En 1952 se presentó con los arquitectos José Antonio Domínguez Salazar, Carlos de Miguel y Ricardo Magdalena, al concurso de proyectos del Estadio de San Mamés en Bilbao, y lo ganaron. En el proyecto inicial que ganó el concurso la cubierta era un arco de hormigón, pero esta solución resultó excesivamente cara y la sustituyeron por un arco metálico del que colgaba una cubierta plana. Esta es una de las pocas estructuras metálicas que hizo, y una de sus obras más importantes. Cuando se reformó el estadio de San Mamés, una de las condiciones que se impuso al proyecto de ampliación era la conservación del arco metálico.

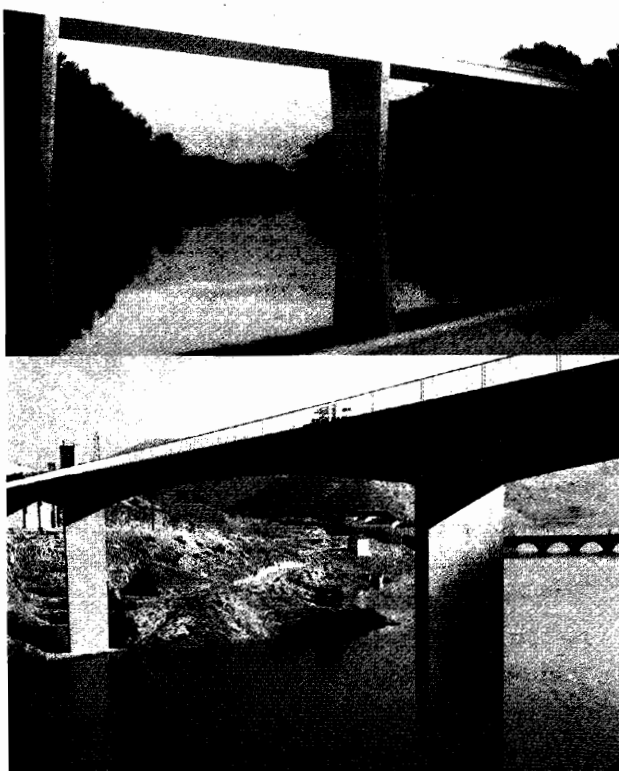
VOLVEMOS ahora a principios de los años 60 para referirnos a la oficina de proyectos Carlos Fernández Casado, S.A., que luego pasó a ser S.L.

Empecé a trabajar con mi padre en 1963, poco antes de terminar la carrera. Entonces tenía una serie de proyectos particulares, la mayoría de ellos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Entre ellos estaban los dos puentes sobre el embalse de Iznajar, los primeros estudios de la presa de Quentar en el río Aguas Blancas para el abastecimiento de Granada, y el puente sifón de la conducción del embalse de Bembezar, sobre el río Guadalquivir.

Fue entonces cuando decidimos hacer una oficina de proyectos, y me quedé a trabajar con él. Así hicimos los proyectos de los puentes de Iznajar y del puente de Castejón sobre el río Ebro en Navarra, que le encargó D. Félix Huarte, entonces Presidente de la Diputación de Navarra.



Puente de Castejón sobre el río Ebro, 1966.



Puente sifón del canal de Bembézar sobre el río Guadalquivir.

Puente sobre el arroyo Priego en el pueblo de Iznajar.

Muy pronto empezó a colaborar con nosotros Javier Manterola Armisén, que entonces estaba en el Instituto Eduardo Torroja.

El puente de Castejón y los de Iznajar, junto con el puente sifón de Bembezar, son unas de las grandes obras de hormigón pretensado de mi padre. El de Castejón tiene 101 metros de luz y se construyó por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas que se montaban con blondin, igual que en el puente de Almodóvar del Río; pesaban del orden de 10 toneladas. En este caso los voladizos llegaban hasta el centro del vano, y no como en Almodóvar que se montaba un tramo apoyado entre las ménsulas. En estos puentes abandonó el intradós acartelado y pasó al intradós curvo, más adecuado a un puente de voladizos completos. Se terminó en 1966.

Recientemente he ido varias veces al puente de Castejón para sustituir unos apoyos de la zona *in situ* de los tramos de avenidas. Todo el puente, salvo pequeños defectos, está perfectamente después de 31 años de servicio, y actualmente soporta un tráfico pesado muy intenso. El puente tiene articulación en clave, pero no se ha producido discontinuidad angular en ella por problemas de fluencia.

Los puentes de Iznajar tienen 85 y 70 metros de luz. El de 85 metros se construyó por dovelas prefabricadas mediante blondin, igual que Castejón. En el de 70 metros, Fernández, que era el contratista de la obra, propuso hacerlo por voladizos *in situ* mediante un carro de avance que compró a Dywidag, de los que esta empresa tenía en los puentes de carretera y ferrocarril del embalse de Alcántara; por ello se hizo por voladizos *in situ* mediante carro de avance.

Otros de los primeros proyectos que se hicieron en la oficina, y de los mejores puentes pretensados que hizo mi padre, fueron los pasos superiores de la autopista Las Rozas-Villalba de la N-VI. Algunos de los proyectos se hicieron en nuestra oficina y otros en la oficina técnica de Huarte y Cía. En Huarte y Cía se hizo la pérgola de hormigón armado de las Rozas, que recientemente hemos prolongado y reforzado con pretensado exterior, para que las zonas abiertas de la pérgola pudieran soportar tráfico; también se hizo el paso superior de las Rozas y los dos pasos de la Navata. En la oficina se hicie-



Paso superior de Hoyo de Manzanares sobre la autopista Las Rozas-Villalba.

ron los pórticos de células triangulares, el de Hoyo del Manzanares y el de la Carretera de Galapagar. Se construyeron en 1965. Posteriormente se hicieron los dos pasos del nudo de Villalba.

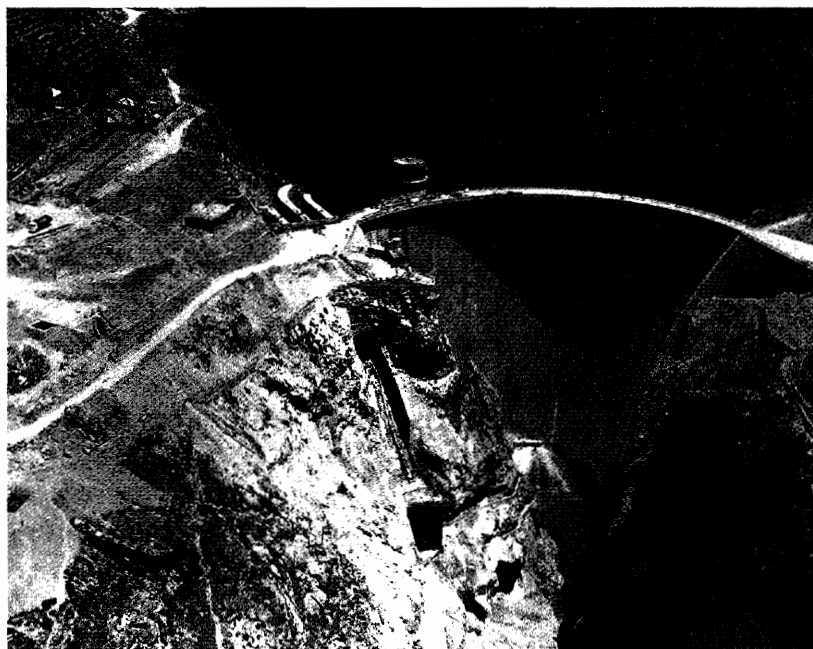
Una de las aspiraciones de la oficina recién creada era hacer proyectos de presas bóvedas. Cuando empecé a trabajar estábamos con los estudios previos de la presa de Quentar, una bóveda de 140 metros de altura. Después se hizo el proyecto completo y la presa se construyó; se terminó en 1968. Mi padre estudió mucho el problema de las presas bóveda e incluso empezó a preparar un libro sobre ellas. El anejo I del libro *Arquitectura del ingeniero*, al que nos hemos referido, se titula *Evolución de las formas y de los métodos de cálculo de las presas bóveda*.

Pero no hicimos ninguna presa más. Nos presentamos a muchos concursos con la ventaja de que en nuestro curriculum teníamos la presa de Quentar, pero no ganamos ninguno y en cambio si ganábamos puentes. Terminamos por abandonar.

La oficina estaba formada por los tres citados, más un delineante por horas y un mecanógrafo, hasta que en 1966 se decidió convertirla en una Sociedad Anónima con el nombre Carlos Fernández Casado S.A., que pertenecía mayoritariamente a mi padre y minoritariamente a Huarte y Cía. Pocos años después cedieron una pequeña parte a Javier Manterola y otra a mí.

La finalidad de la oficina era hacer los proyectos especiales de la constructora Huarte y Cía y los que consiguiera de otros clientes. En ese momento la oficina empezó a crecer. Javier Manterola dejó el Instituto Eduardo Torroja y se incorporó a plena jornada en la oficina.

Presa de Quentar sobre el río Aguas Blancas, Granada.



Desde entonces el trabajo en ella se basó en una estrecha colaboración entre los tres ingenieros que la formamos, y con todos los profesionales que se fueron incorporando.

La casa de Grijalba 9 en la Colonia de la Residencia, donde vivíamos la familia desde 1950, pasó a ser oficina porque mis padres se mudaron; en esa misma casa sigue 31 años después. Lo primero que montó mi padre en la nueva oficina fue el mural de la entrada con la fotografía aérea del puente de Alcántara, que todavía se conserva.

La relación entre Carlos Fernández Casado S.A. y Huarte y Cía fue fructífera durante muchos años. Pienso que fue muy positiva para ambos, tanto para la constructora, como para la oficina de proyectos. Hicimos muchas obras juntos y se puede decir que la culminación de esta colaboración son los puentes atirantados de Sancho el Mayor sobre el Ebro, y del ingeniero Carlos Fernández Casado sobre el embalse de Barrios de Luna. Esta colaboración se debe en una parte importante a Enrique Romero, director entonces de Huarte y Cía y que, con mi padre, fue promotor de Carlos Fernández Casado S.A., y

1965. Conferencia en el Instituto Eduardo Torroja.





Mis padres con la mayoría de sus nietos.

consejero, junto con Jesús Huarte, por parte de Huarte y Cía, hasta que esta empresa nos vendió su parte.

Enrique Romero y su mujer Angelines, fueron durante mucho tiempo, a pesar de la diferencia de edad, unos de los mejores amigos de mis padres.

Cuando la oficina pasó a ser sociedad, mi padre tenía 61 años. Siguió trabajando en activo en ella durante varios años más. De esta época son los puentes de Toledo sobre el río Manzanares, o el paso de la calle de Mauricio Legendre, también en Madrid, y muchos otros más. Pero, poco a poco, le fue llegando el relevo.

Es muy difícil establecer, por diferentes razones, cuándo se produjo ese relevo y para mí es además difícil escribir sobre él. Hay sin embargo hitos claros que sí se pueden fijar. Cuando empezamos con los puentes atirantados mi padre era demasiado mayor para aprender una nueva técnica, a pesar de su capacidad de estudio. Tenía 68 años cuando hicimos el proyecto de la Pasarela de las Glorias Catalanas, y más cuando se hizo el puente del Ebro y después el de Barrios de Luna. Él mismo ha escrito que en el del Ebro no tuvo ninguna intervención. En ese momento empezó a utilizar la palabra *abuelidad*; se consideraba abuelo de los puentes que se hacían en la oficina; creo que alguna vez escribió sobre ello.

Pero esto no quiere decir que mi padre dejara de trabajar, siguió trabajando y escribiendo hasta que tuvo que dejarlo por enfermedad. Prueba de ello es que su libro *Ingeniería Hidráulica Romana*, el último que hizo, en mi opinión extraordinariamente bien documentado, aunque se quedó sin bibliografía, se publicó en 1985, cuando mi padre tenía 80 años.

Siempre tuvo en la oficina su despacho en el sótano: una habitación muy grande y singular, rodeada de libros de temas muy diversos, fiel reflejo de ese interés suyo por diferentes conocimientos y artes. Hay un cuadro de Benjamín Palencia y una escultura de Oteiza, regalo de Juan Huarte. Se traspasó, sin alterar, de la casa familiar a la oficina, en 1966. Era el despacho de mi padre desde que se amplió la casa a principios de los años 50. Todavía se conserva sin ninguna alteración.

UNA de las aspiraciones más arraigadas en mi padre fue ser profesor de la Escuela de Caminos. Le hizo siempre una ilusión enorme, pero no lo consiguió hasta los 53 años. Fue la actividad más tardía que inició en su vida. Recuerdo la alegría con que recibió la noticia, la ilusión con que preparó su oposición a cátedra, y todas las primeras incidencias de sus clases. Fue un nuevo empezar, que para él fue especialmente gratificante. Ser profesor lo consideraba la culminación de su carrera.

Muy joven, con veintitrés o veinticuatro años, dió un curso sobre radiofaros, en la Escuela de Caminos, después de venir de París. Como hemos visto, después de la Guerra Civil intentó entrar de profesor, pero le depuraron. Posteriormente la rama de estructuras en la Escuela de Caminos era un coto cerrado; imposible de entrar en él.

En 1958 el profesor de la asignatura de Geotécnia y Cimientos y Puentes de Fábrica, José Entrecanales, decidió dejar la Escuela y dividir su asignatura en dos, Geotécnia y Cimientos por un lado, que pasó a José Antonio Jiménez Salas, y Puentes de Fábrica por otro, que pasó a mi padre. Hubo ciertas resistencias en la Escuela, alegando que podía dar la nueva asignatura alguno de los profesores que ya había en ella, pero la personalidad de Entrecanales se impuso, y mi padre entró de profesor encargado de puentes, probablemente la asignatura que él hubiera elegido siempre. Pero ya en esta época la Escuela había pasado al Ministerio de Educación y por tanto era necesario ganar la cátedra por oposición. Creo que las primeras oposiciones que se convocaron en la Escuela de Caminos fueron la de Jiménez Salas y la de mi padre. La oposición se efectuó en 1961 y se presentó solo. Fue presidente del tribunal Eduardo Torroja y todò se desarrolló amigablemente y sin ningún problema.

Mi padre tenía claro que él había entrado en la Escuela gracias a José Entrecanales y siempre estuvo muy agradecido por ello. Le dedicó el libro *Puentes de hormigón armado pretensado*, que publicó siendo ya profesor.

Era una de sus actividades que hacía con más ilusión; realmente le gustaba dar clase y el contacto con los alumnos. Mi padre fue



Mi padre en un viaje de prácticas con los alumnos.



Entrega de la placa de miembro de honor de la Asociación de Ingenieros de Caminos.

Sesión de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

siempre una persona tímida e introvertida, pero creo que las clases de la Escuela le hicieron más comunicativo y más abierto de trato.

Su forma de dar clase fue muy peculiar en la Escuela, donde se pasaba lista en todas las clases e incluso se apuntaban las llegadas tarde; un colegio de párvulos. Frente a ello planteó un sistema más abierto, más parecido a lo que se hacía en la Universidad. Entre otras diferencias con lo establecido, nunca pasó lista.

Estuvo 17 años de profesor, hasta que se jubiló en 1975. Luego siguió dando clase de doctorado durante algunos años más. Estos cursos fueron de temas muy diversos. Aparte de los de puentes, hizo uno de historia de las cúpulas y otro de historia de las máquinas.

Su interés por la filosofía fue también una constante que mantuvo a lo largo de su vida. Yo le recuerdo con mucha frecuencia leyendo a Platón, que era uno de los filósofos que más le gustaban.

Si bien antes de la Guerra asistió a varios cursos de Ortega y tuvo con él alguna relación, fue la filosofía de Xavier Zubiri la que más le interesó y con la que se identificó plenamente. Prueba de ello son varios trabajos que hizo sobre o a partir de la filosofía de Zubiri; el más extenso es el *Enfoque de la Estética desde la filosofía de Zubiri*, que ya hemos citado. También es evidente su influencia en el de *Naturalidad y artificio en la obra del ingeniero*, y en otros muchos.

Sentía por Zubiri una profunda admiración, casi se puede decir que devoción. Tenían relación personal y algunas veces venía con su mujer, Carmen Castro, a cenar a casa. He conocido pocas personas con una conversación tan brillante y tan atractiva. Tenía una enorme facilidad y gracia para contar las cosas, y además era siempre evidente su extraordinaria inteligencia.

Mi padre nunca se perdía las clases de Zubiri, organizaba siempre los viajes en función de ellas. Pocas veces le he visto tan enfadado como en un viaje que volvíamos de una obra siendo yo pequeño, creo que era del puente de Mérida, y se estropeó el coche de la Jefatura de Puentes; eso le hizo perder la clase de Zubiri y le sentó fatal.

En 1976 leyó su discurso de entrada en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Se titulaba *Estética de las artes del*

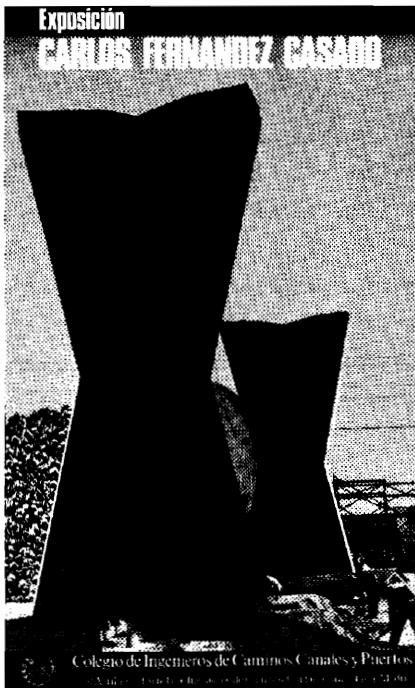
*ingeniero* y en él cristalizaba su pensamiento sobre la ingeniería, que inició en la Noche de Gallo, en una línea racionalista muy de acuerdo con las corrientes de la arquitectura y el pensamiento de su tiempo.

Ya nos hemos referido a muchas de sus publicaciones, y están todas en la bibliografía anexa, pero quiero destacar un libro que le llevó muchos años hacer: el libro de los *Puentes Romanos* que se publicó por artículos en la revista *Informes de la Construcción* durante 25 años, desde 1954 hasta 1980, año en que se publicó el libro. Esta diferencia de tiempo y de temas hace que haya mucha diferencia de unos capítulos a otros.

COMO hemos dicho, una de las constantes de su vida fue su interés por la ingeniería romana, a cuyo conocimiento dedicó muchas horas de trabajo. Empezó con el estudio del abastecimiento de aguas de Almuñécar, y después dedicó mucho tiempo y viajes al abastecimiento de Toledo. No llegó a publicarlo en su totalidad, pero sí algunos de sus hallazgos: el depósito romano de aguas de la ciudad, identificado con las llamadas Cuevas de Hércules, y su teoría de que el paso sobre el Tajo se hacía mediante un acueducto-sifón.

También recorrió muchos kilómetros, mejor debemos decir millas, andando por las calzadas romanas de nuestro país. Tenía muchas hojas manuscritas sobre esos recorridos, y muchas fotografías y planos, pero publicó poco sobre ello. En el prólogo que escribió para una reedición del trabajo de Eduardo Saavedra sobre la calzada de Uxama a Augustóbriga, describió su propio recorrido de la calzada, que recuerdo que hice con él cuando era estudiante en la Escuela.

Una frase donde se hace evidente su amor y preferencia por todo lo romano, es la que escribió al estudiar el Puente del Diablo sobre el río Cardoner, en Cardona: *En la actualidad quedan únicamente dos arcos contiguos de tan buena factura y tan hermosos que merecen ser romanos*. El puente de Cardona es seguramente del siglo XIV. Igual que su estudio sobre la conducción romana de Almuñécar que, como ya hemos dicho, lo hizo aprovechando sus viajes a la obra del puente de Salobreña sobre el río Guadalfeo, el primer artículo del



1975. Exposición itinerante del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



1978, Londres. Entrega de la medalla de la FIP.

libro de puentes romanos, que es el estudio del puente romano de Mérida, lo hizo cuando estaba construyendo el nuevo puente sobre el Guadiana en esa ciudad, y por ello tuvo que viajar allí con frecuencia, la mayoría de las veces acompañado de mi madre. Recuerdo haber ido con él dos o tres veces a Mérida. En el viaje parábamos en el puente de Almaraz, y luego, ya en Mérida, recuerdo haber estado con él en el puente romano, en el acueducto de los Milagros, y en el de San Lázaro.

También, gracias a los viajes a Mérida, hizo el artículo sobre el puente de Alcántara, el segundo del libro, al que iba con frecuencia desde allí. Estos dos capítulos son, en mi opinión, lo mejor del libro.

Paralelamente al libro de los puentes, hizo el de los acueductos romanos, también por artículos publicados en Informes de la Construcción. Se puso a escribirlo cuando le encargaron el proyecto de restauración del acueducto de Segovia, un proyecto que hizo con especial cariño, y al que dedicó mucho tiempo y esfuerzo. El libro *Acueductos Romanos en España* se publicó en 1972.

Su último libro, como hemos visto, fue *La Ingeniería Hidráulica Romana*, publicado cuando tenía 80 años.

Los últimos años de su vida estuvo enfermo, nada se puede decir de ellos. Murió el 3 de mayo de 1988. Está enterrado en el cementerio de Cercedilla, al pie de los Siete Picos, muy cerca de Camorritos, donde pasó una parte significativa de su vida.

Han pasado casi diez años desde entonces. Esta distancia en el tiempo me ha dado el suficiente valor y la perspectiva necesaria para escribir estas páginas; antes no hubiera podido. Para aclarar y concretar muchos de los hechos relatados han sido fundamentales varias conversaciones con mi madre, que además han servido para que me recordara aspectos importantes de la vida de mi padre, porque ella es quien los vivió más cerca.

LEONARDO FERNÁNDEZ TROYANO

Camorritos, Julio 1997



## *La Obra construida*

LA OBRA construida de Fernández Casado es colosal. Desde su temprana Colección de Puentes de Altura Estricta hasta sus últimas realizaciones en hormigón pretensado, ninguna de las facetas que adoptó la construcción a lo largo de su vida le fue ajena.

Su obra está impregnada de la cultura racionalista y de la sobriedad vital instalada en la sociedad progresista de los años veinte y treinta. El neoplasticismo significa *“claridad en las formas y pureza en las superficies, es decir líneas rectas, ángulos rectos y formas elementales, estrictas y lisas”* casi una definición de sus puentes de altura estricta, preferencia de la recta respecto a la curva, dinteles acartelados, no curvos, transiciones bruscas nunca redondeadas, pilas paralelepípedicas, achaflanadas. La ausencia de ornamento se contempla no solo como *“eliminar aquello que estorba la expresión pura del arte”* sino con su dimensión ecológica, de coste y gasto dispendioso.

Sus manifestaciones constructivas son la expresión exterior de toda esta manera de pensar, sentir y sentirse instalado. Forma y contenido se confunden en una unidad que se manifiesta. Y es importante repasar ahora estas cosas cuando estamos rodeados de construcciones que dan forma a la nada, pura brillantez que nos seduce y nos hunde cada vez, un poco más, en el vacío.

Fernández Casado creía en el progreso, la geometría y la industrialización y toda esta abstracción de la realidad la unía a la naturaleza, en un resumen vital congruente.

La prefabricación de vigas, dovelas, arcos, cerchas, etc. fue un camino recorrido durante muchos años. Las cubiertas laminares, las presas bóveda (hizo la presa de Quentar en Granada de 125 m de altura con el Ingeniero Bravo), las estructuras de edificios. Se unió al pretensado desde sus inicios y lo enfrentó con el saber del que está

instalado en los problemas de la construcción, abandonando métodos y tecnologías que dominaba y con las que podría resolver multitud de problemas presentes, pero que indefectiblemente le anclarían en tiempos pasados. Y esto no es nada fácil de hacer, abandonar la maestría adquirida en favor de mundos nuevos llenos de sugerencias.

Su obra real sobrepasa con mucho la que aquí presentamos. Fernández Casado fue asesor de una gran empresa constructora durante 50 años, Huarte y Cía, empresa con la que siempre se sintió muy unido. Fue fundador y director de la empresa de proyectos que lleva su nombre. El número de soluciones que planteó, problemas que enfrentó y resolvió, ideas y planteamientos que eran soportados por su enorme prestigio, en ambas actividades, fueron innumerables.

Cuando la tecnología estaba formándose y extendiéndose era imprescindible estar unido a una empresa constructora. Era necesario manejar todos los medios necesarios y establecer una política constructiva dentro de la entidad lo suficientemente amplia como para poder enfrentar todos los avatares de un cambio tecnológico. Huarte y Cía, y Fernández Casado, unidos, dieron un paso adelante fundamental en el desarrollo de la construcción en nuestro país.

Cuando las cosas cambiaron y la construcción y su desarrollo no estaba ya indisolublemente unida a la empresa constructora sino que se podría realizar también desde fuera, fundó la empresa que lleva su nombre, Carlos Fernández Casado, S.L. Oficina de Proyectos, donde pudo seguir desarrollando su manera de entender la construcción a lo largo de muchos años, muchos puentes y construcciones diversas.

### *I. Puentes de altura estricta (1930 a 1956)*

EN el año 1933, a los 28 años de edad, Carlos Fernández Casado empieza su Colección de Puentes de Altura Estricta. La colección se presentó en Mayo de 1936 y fue aprobada por el Consejo de Obras Públicas en Junio del mismo año. Después fue vuelta a aprobar por Orden Ministerial el 22 de Diciembre de 1939.

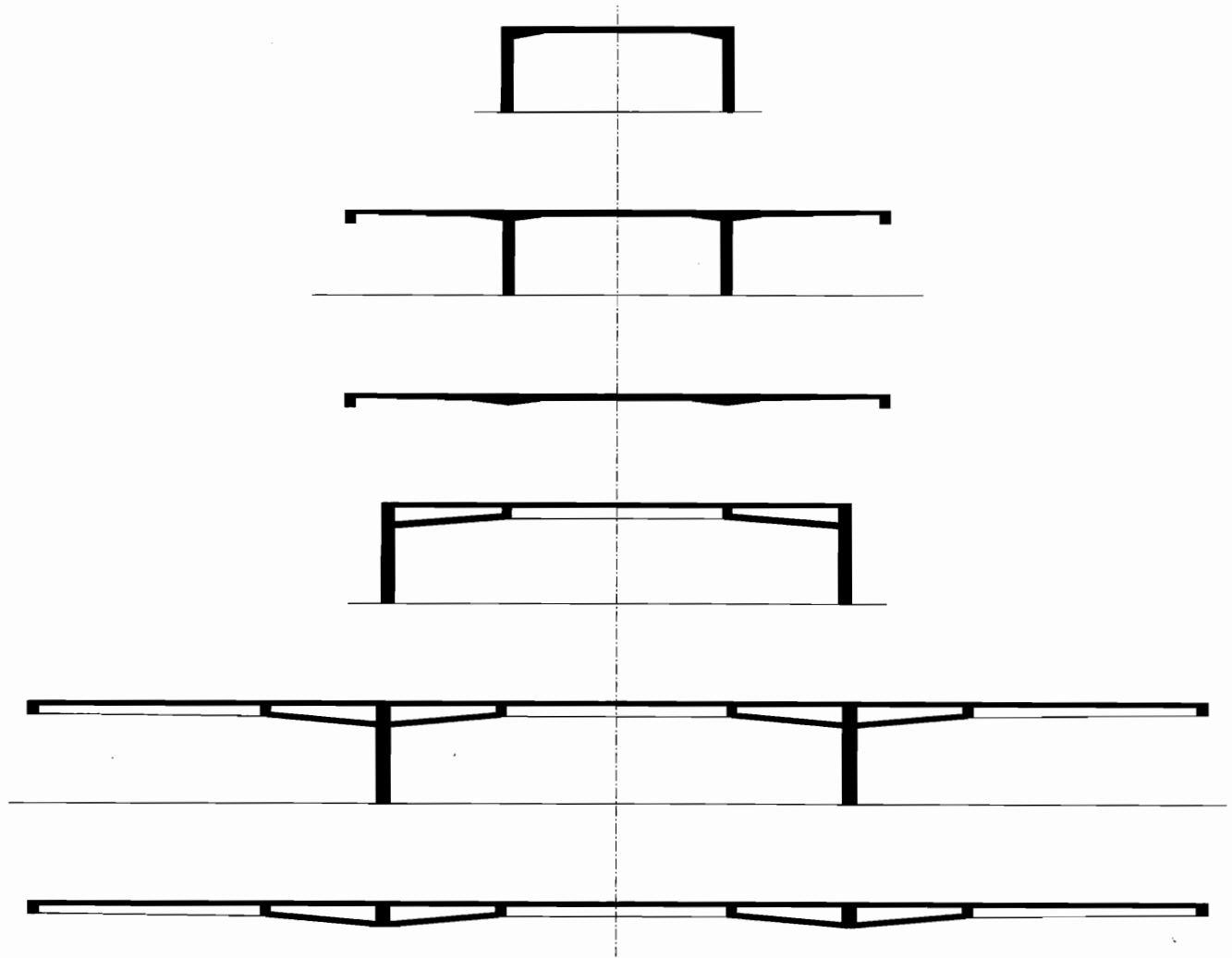
El objeto de la colección lo describe el mismo Fernández Casado en una serie de ocho artículos que publica en la revista de Obras Públicas del 15 de Enero al 15 de Mayo de 1934:

*“Esta colección tiene por objeto salvar las luces prácticas más corrientes con la mínima pérdida de altura, problema que resulta extraordinariamente frecuente. Así, quedan dentro de él la gran mayoría de los pasos de cauces de caminos vecinales y carreteras secundarias; el cruce de ramblas en las proximidades de su desembocadura, caso típico y muy repetido en las carreteras de la costa mediterránea; travesías de ríos navegables, obras de paso superior de carreteras o carreteras sobre ferrocarril, cruces de calles a distinto nivel u otras similares”.*

*“Desde el punto de vista funcional, hemos visto que responden, como indica el enunciado de la Colección, a conseguir la menor elevación de la rasante, ajustándose lo más posible al gálibo obligado, para alterar de modo mínimo el perfil normal de la carretera. Esto, además, tiene una ventaja económica por reducir la importancia de los accesos, terraplenes, muros de acompañamiento, nuevo pavimento en caso de variantes y la superficie de terreno ocupada por los derrames del terraplén”.*

Desde estos enunciados, Fernández Casado, pone en manos de un gran número de ingenieros, no especialistas en el cálculo, la posibilidad de resolver sus problemas de puentes. Para ello divide la colección en 10 series, cinco de sección losa, las impares y cinco de sección transversal de vigas, las pares, que van a cubrir luces distintas. Las soluciones losa tienen luces máximas de 12 m y las soluciones vigas, luces máximas de 20 m, que se ampliaron posteriormente a 30 m.

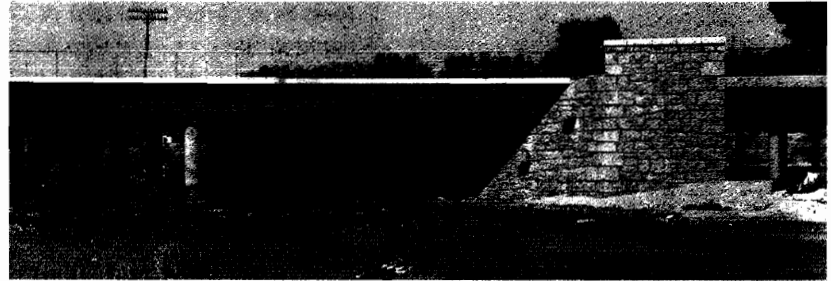
En cuanto a las morfologías longitudinales tenemos: pórtico simple, series I y II. Pórtico en “ $\pi$ ”, series III y IV, con dintel empotrado en las pilas intermedias y apoyos en los estribos con el fin de controlar el efecto de las deformaciones de temperatura en los apoyos extremos. El dintel continuo de tres vanos, series V y VI, ampliadas con las series VII y VIII al disponer articulaciones intermedias a cuartos de la luz y finalmente las series IX y X, en dintel de tres vanos con apoyos intermedios y contrapesos extremos para compensar la pequeña longitud de los vanos laterales.



Secciones típicas de los puentes de altura estricta.

En todas las series el dintel siempre es acartelado, disponiéndose el extremo de la cartela a cuartos de la luz. Cuando se trata de tableros de vigas, la sección por el centro está constituido por vigas en T y la sección por la zona de apoyos en cajón. En cuanto a la luz de los vanos extremos se obtiene de manera que se igualen los momentos en carga permanente sobre los apoyos.

Puente de Puerta de Hierro: vista frontal del estribo izquierdo desde aguas abajo.



*“Los apoyos típicos de la Colección son los tabiques delgados de hormigón armado, con simples tajamares en bisel cuando son apoyos intermedios en contacto con el agua. Esta forma de tabique es necesaria si hay continuidad estructural entre apoyos y dintel (pórticos sencillos y triples) y es muy conveniente desde el punto de vista del obstáculo a la corriente”.*

*“En los apoyos intermedios no solidarios del dintel proyectamos modelos de palizadas y empleamos también pilares cilíndricos independientes en los casos de gran oblicuidad (Puerta de Hierro y Llamares), o cuando se trata de censos de agua de dirección variable”. “En cuanto a los aparatos de articulación, hemos adoptado definitivamente los de hormigón armado, con péndulos para los de libre deslizamiento y semiarticulación de hierros pasantes en las fijas”.*

De esta colección se realizaron más de 50 puentes, tanto por su autor como por otros ingenieros y constituye, a nuestro entender, uno de los más claros logros de la ingeniería de aquellos años.

En la colección no sólo está la solución a una serie de problemas ingenieriles y una herramienta utilísima para hacer puentes. También está el control estético de la obra instalada en paisaje.

*“Utilizar la idea para llegar a la realidad efectiva de las cosas. Desarrollando esta fórmula podemos hacer, a posteriori, un esquema del proceso mental que nos llevó hasta nuestra Colección. Por recolección de las notas dispersas en los puentes de tramo recto construidos, obtuvimos los problemas de este tipo de puentes, y al unificarlos en lo esencial, llegamos hasta la idea del mismo. En el paso de los datos de la realidad por el crisol de la idea, tuvimos la ocasión de purificarlos de*

Puente de Puerta de Hierro: vista del tramo de acceso al puente.



*todo lo accidental, y ésta es la significación de lo estricto, aunque aparentemente califique sólo la altura de nuestros puentes.”*

*“La idea lograda adquirió una primera representación en los prototipos que definen las distintas series de la Colección, y cuya configuración está determinada –como hemos visto– por puras relaciones numéricas. Quedan de este modo intercalados entre la idea y la realidad sensible, estos esquemas geométricos, donde reaparece lo formal en su más simple expresión. Cada puente concreto –singularización de la idea– participa en la estructura numérica de los prototipos, siendo repetición de uno de ellos a determinada escala geométrica. Por consiguiente, al tomar cuerpo cada uno de nuestros puentes, su fermosidad, es decir, su belleza, pende de las proporciones numéricas que hemos establecido. No somos nosotros los llamados a proclamar si en estas proporciones se ha conseguido alguna armonía, pero sí podemos afirmar que hemos logrado uno de nuestros objetivos: dar sentido positivo a la norma estética de no perturbar la armonía del paisaje, introduciendo el mínimo de formas nuevas.”*

La relación de la obra con el paisaje, el enfrentamiento entre sus realidades respectivas, está constantemente presente en el pensamiento de D. Carlos, pero de una manera abstracta, general, y universal. No desciende a responder si es posible que un solo diseño, totalmente controlado, con la única posibilidad que se deja al ingeniero para instalarse en el terreno, como es la de elegir su luz, puede resolver el problema de integración del puente con paisajes tan radicalmente diferentes como es la desembocadura de un río ó el cruce de una vía de ferrocarril, el frondoso entorno de la ribera de un río o el agreste paisaje de la sierra.

Mucho se ha hablado de este problema, acentuando la necesidad de que todo puente esté en armonía con el paisaje en que se instala. El tipo de puente a utilizar, su luz, sus dimensiones, la proporción de su tamaño con la morfología del terreno. Desde esta perspectiva se nos insta casi a descubrir el puente que todo paisaje lleva dentro.

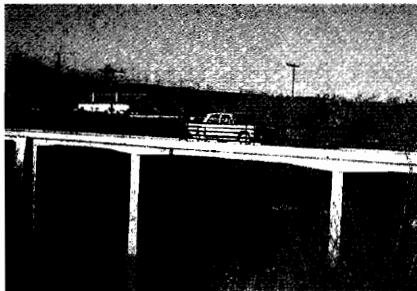
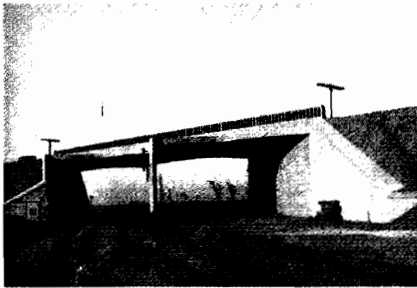
Sin embargo, la ingeniería no se ha hecho nunca demasiadas preguntas al respecto. Por el contrario, se ha instalado y todo ha cambiado, incluida nuestra manera de ver y comprender. Pongamos como ejemplo un lugar singular, el que se encontró Maillart en

Paso superior de Caparros, Navarra.

Puente sobre el río Llaranes.

Puente sobre el río Blanco, Cubillas.

Puente del Pardo, Madrid.



Salginatobel, o Melan en Echelsbach. Podríamos decir que, sin duda, esos puentes arco eran los únicos puentes posibles en esos lugares, entendiendo como puente posible no sólo en su dimensión mecánica, la de un puente arco que resuelve como ninguna otra morfología el problema resistente del lugar, sino único puente posible en su dimensión de interpretación adecuada de la relación entre un puente y el paisaje. Ahora bien, Maillart utiliza el mismo puente para una garganta cerrada como para un río idílico en el valle. Resuelve estos problemas con un modelo de puente que lo repite aquí y allá. Y en todos los sitios está bien. Y además estamos seguros de que otro tipo de puente, por ejemplo, un dintel recto, biapoyado, lineal y tenso, con canto máximo en el centro de la luz, sin ningún apoyo intermedio habría quedado muy bien, en el mismo sitio.

Y qué decimos de la solución dada al Tajo de Ronda en el siglo XVIII. La afirmación de que el Salginatobel es el único puente posible obligaría a dinamitar el resto. ¿Se puede decir que el Firth of Forth, un puente bárbaro y salvaje, traduce mal la geomorfología del estuario del Forth?

Sin embargo, este razonamiento no significa lo contrario, que cualquier puente queda igual de bien en cualquier lugar. La relación entre puente y lugar es más compleja, no se deja atrapar en un concepto simple y por esa razón es fundamental y por esa razón se escapa. La respuesta a esta complejidad, D. Carlos, la da desde lo universal y teórico, como ya hemos indicado y lo da también desde lo poético en algo tan sugerente como *“el puente es un estado de ánimo en el paisaje”*.

No somos de los que creen que la forma de los puentes sea una, como si respondiese a una organización formal propia y matemática; muy al contrario, y la historia del puente lo demuestra, la formalización de cualquier objeto está sujeta a las variaciones sociales, ideológicas, técnicas y estéticas. Pero en todos aquellos puentes que podemos considerar como ejemplares, aquellos en los que nos reconocemos, subyace el espíritu de vuelta al interior de su creador, hasta encontrar el código que estructura su posibilidad de comunicación y hace vivir como suya la realidad de sus puentes.



Puente sobre el río Guadalimar.

Construidos hace treinta o cuarenta años, los puentes de altura estricta responden a la máxima racionalista de la época *"Menos es más"*.

## *II. Prefabricación de naves industriales (1940 - 1960)*

LA racionalización, la industrialización y, por tanto, la prefabricación es uno de los *leiv motiv* del entendimiento de lo constructivo en el pensamiento de D. Carlos. Hemos visto, en los puentes de altura estricta, como lo racional y la interpretación minimalista de la construcción están llevadas a su extremo. Ahora, en la prefabricación de naves industriales, deposita la claridad del entendimiento de lo resistente y lo constructivo. En estas naves está disecado lo esencial. Sólo aparece lo imprescindible.

Hablando de la prefabricación de naves industriales dice:

*"Las cuatro ventajas principales del hormigón premoldeado son:*

- *Supresión de andamios y reducción de los encofrados al mínimo.*
- *Posibilidad de empezar simultáneamente la ejecución de cimientos y cubiertas.*
- *Ejecución en taller con hormigón controlado, mano de obra especializada y moldes perfeccionados, lo que permite obtener la dosificación, consolidación y curado que se haya previsto.*

- *Regularización de producción que puede planearse desde el primer día, haciéndola independiente de las condiciones atmosféricas, plazos de descimbrado, etc.*

La tipología desarrollada fue muy diversa, dependiendo de las condiciones funcionales requeridas.

#### CUBIERTAS CILÍNDRICAS FORMADAS POR ARCOS ATIRANTADOS

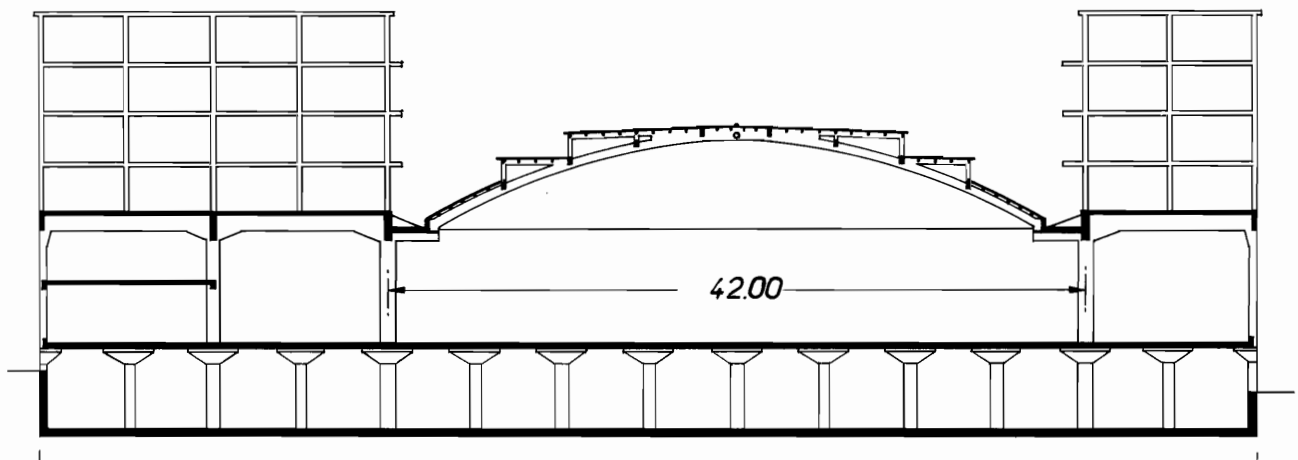
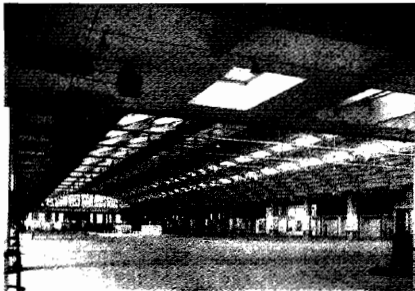
ESTA tipología la utiliza en muchas naves, con las variantes que introducen las condiciones de iluminación y ventilación.

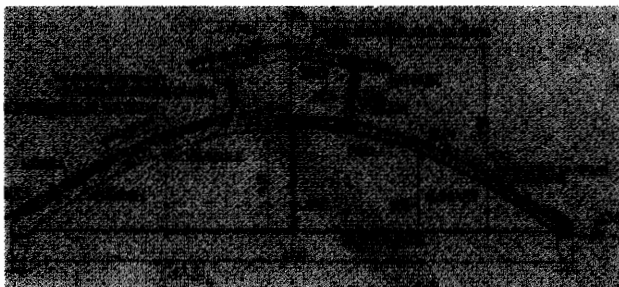
#### *Cubierta de la Estación de trolebuses de Madrid (1950-1951)*

Es la primera y más importante en cuanto a su luz se refiere, y aún podemos verla como depósito de los coches retirados de la calzada por la grúa, en la calle Alfonso XIII. Se trata de una nave de 196 x 73 m de los cuales, la zona central, libre de soportes, es de 154 x 42 m. Está organizada en arcos triarticulados con tirantes, de 36,8 m de luz entre articulaciones, que se apoyan sobre ménsulas de 5,2 m de vuelo. Los arcos tienen 5,6 m de flecha, sección de 50x25 m, y están armados simétricamente por 4 Ø 30 en cada cabeza. Los tirantes están formados por redondos 4 Ø 36 y 2 Ø 32.

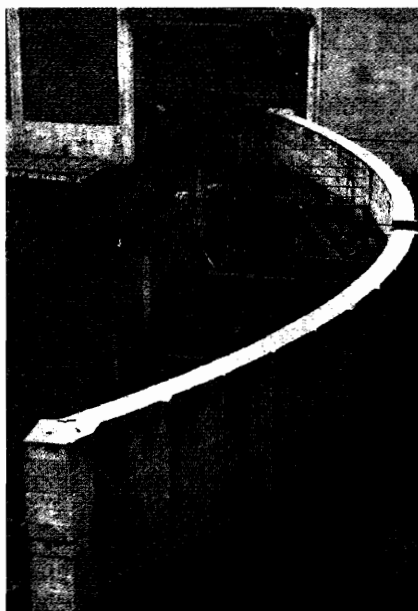
La separación entre arcos es de 5 m y entre ellos se disponen viguetas de hormigón separadas 4 m entre sí.

La estación de trolebuses en Madrid.  
Foto del interior y sección constructiva.





Los arcos se prefabricaban en mitades y en posición vertical, sobre una cama cilíndrica. Se izaban por mitades, colgadas de dos plumas de madera y se apoyaban mutuamente en el centro, en una rótula constituida por un redondo de 36 mm. Se replanteaban en altura y una vez nivelados, se soldaban los semitirantes entre sí. A continuación se colocaban las viguetas de arriostramiento. Después se soltaban de las grúas. El montaje de los elementos prefabricados duró dos meses.



#### *INASA - Irurzun (1958 - 1959)*

Aquí construye dos naves. La de fundición y la de trefilado, ambas de 120x20,9 m. Para ambas naves elige una separación de arcos de 6 m. Los arcos, de 20,9 m de luz teórica y 4,15 m de flecha, tienen una sección de 45x3 y van atirantados por 2 Ø 32. En esta nave los arcos son de una sola pieza y por consiguiente bi-articulados. Las viguetas transversales dispuestas cada metro, se cubren con uralita.

La preocupación, que en todas las naves prefabricadas se produce durante la construcción, por temor a su posible caída según "fichas de dominó", lo resolvía Fernández Casado haciendo los testeros *in situ*, empotrados en los pilares y arriostrando cada arco con viguetas al testero fijo o a otros arcos prefabricados ya arriostrados. Nunca se soltaba un arco de la grúa antes de estar bien arriostrado.

#### *ENSIDESA - Avilés (1952-1954)*

En Ensidesa construye el taller de Calderería, formado por dos naves adosadas de 20,8 m de luz x 252,2 m de longitud, la nave de Laminación, que consta de 7 naves adosadas de 30,2 m de luz, salvo una que es de 20 m, con una longitud máxima de 905 m, y el Taller mecánico, que se compone de 6 naves, dos en arco, de 22,1 m de luz y la longitud máxima es de 117,2 m.

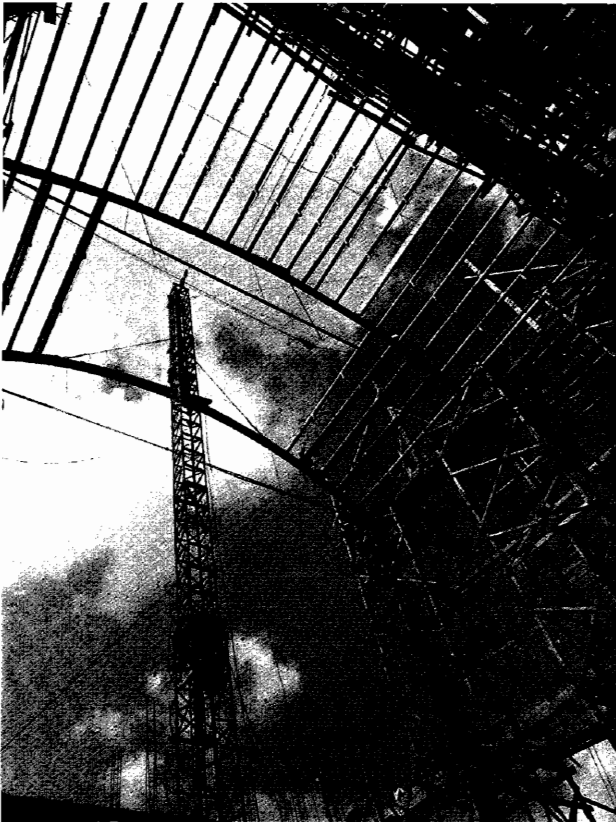
La cobertura en estas naves se realiza en el centro, sobre el arco y en los laterales sobre vigas que cuelgan de los arcos, sirviendo la pared vertical que se produce entre ellos como lucernario y elemento de arriostramiento. El intereje entre arcos es diferente según las naves. En la de Laminación, que es la más importante, oscila entre 13



Sección transversal de la nave de fundición de INASA, Irurzun.

Proceso constructivo de los arcos de la nave de trefilado de INASA, Irurzun.

Vista general del taller de calderería de Ensidesa, Avilés.



Ibérica de Zinc. Nave de tostación en construcción.

y 16 m, lo que se resuelve por medio de unas viguetas con tirante inferior muy interesante.

Los arcos, triarticulados, se fabrican en mitades, en posición horizontal, montando uno sobre otro con separación de una pequeña capa de yeso. Es necesario tener cuidado al levantarlos pues se producen flexiones transversales muy importantes que es necesario controlar para evitar fisuraciones no deseadas.

Los pilares de esta nave son muy grandes, de 230x120, los normales y 230x200, los extraordinarios, ya que junto con el peso de la cubierta hay que soportar puentes grúa de hasta 125 t.

#### *Española de Zinc (1958-1960)*

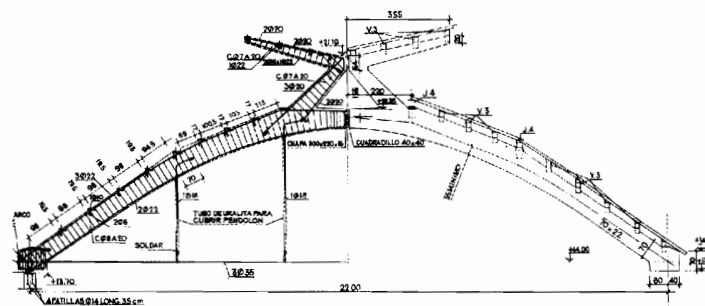
EN Española de Zinc realiza tres naves con cobertura de arcos prefabricados.

La Nave de tostación, de 23 m de luz y 53 m de longitud. La altura de los pilares es de 23,4 m y el punto más alto de la cubierta llega a la cota 28,46. La cubierta, modulada cada 8 m, está formada por arcos de dos articulaciones desde su origen, que se montaron de una sola vez, graduándose la tensión de los tirantes mediante tensores individuales, colocadas en los  $\varnothing 30$  que lo forman. Los arcos son de 50x20 y constan de dos redondos  $\varnothing 30$  como tirante. Las viguetas de 8 m de luz, separadas entre sí 1 m son simples vigas en T de 22 cm de canto.

Para que no se acumulen gases en la parte superior se dispuso una pequeña ventilación para la zona de la cubierta.

La Nave de Lixiviación tiene una planta de 96x46,5 m y se divide en dos partes. Una, de 46,5x20,5 m, es la que está cubierta por arcos. Los arcos son de 40x18, con 20,5 m de luz libre y 4 m de flecha, atirantándose mediante 2  $\varnothing 30$  que se cuelgan de tres péndolas  $\varnothing 12$ . La equidistancia entre arcos es variable entre 7,66 m y 4 m, luces que se salvan mediante viguetas de diferente tipo. Para las de mayor luz se han utilizado vigas armadas de tipo análogo a las dos naves de laminación de Ensidesa, en Avilés, con cabeza de 18x10 y tirante constituido por 10  $\varnothing 14$ .

Española del Zinc. Sección transversal de la nave de electrolisis.



La Nave de Electrólisis tiene 78,40x55,4 y está dividida en tres crujiás. La central de 22 m de luz teórica, está formada por arcos triarticulados de 70 x 22, tres redondos de  $\varnothing$  35 por tirante y viguetas de 5 m de luz dispuestas cada metro. De cuatro de estas viguetas cuelgan monocarriles que sirven a la fábrica, lo que obligó a un sobredimensionamiento de estas nuevas viguetas y del arco en sí, mucho más solicitado que las de las otras dos naves y además de manera asimétrica.

#### CUBIERTAS EN DIENTE DE SIERRA

Son varios los tipos de cubiertas en diente de sierra que desarrolló.

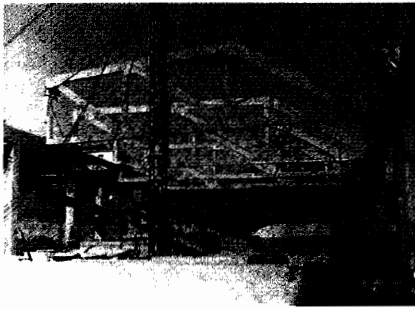
#### *Talleres de Huarte en Pacífico. Madrid (1948)*

ORDENADO según una cuadrícula de 12,5x10 m, utiliza cerchas triangulares de hormigón de 18 cm de espesor y cantos variables de los elementos entre 25 cm y 45 cm. Estas cerchas triangulares, de 12,5 m de luz, se disponen cada 3,33 m, tres por módulo de 10 m, las cuales se apoyan sobre vigas longitudinales.

Las cerchas se hormigonan horizontalmente en bloques que corresponden a una crujía. En el montaje se separan del grupo, se trasladan y se izan empleando medios mecánicos diversos. El elemento de separación entre cerchas durante el hormigonado era una pequeña capa de yeso.

El enlace entre las cerchas se realiza por una viga en cumbrera evitando así la inestabilidad.

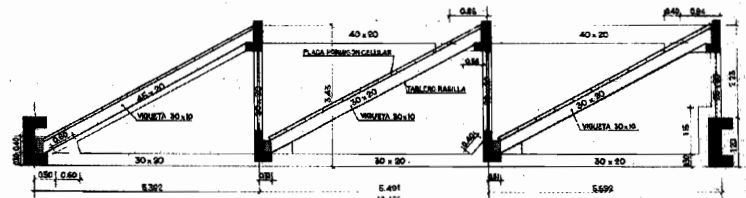




Nave FIAT en Madrid durante el proceso constructivo y plano de la armadura de la cercha.

### FIAT - Madrid (1951)

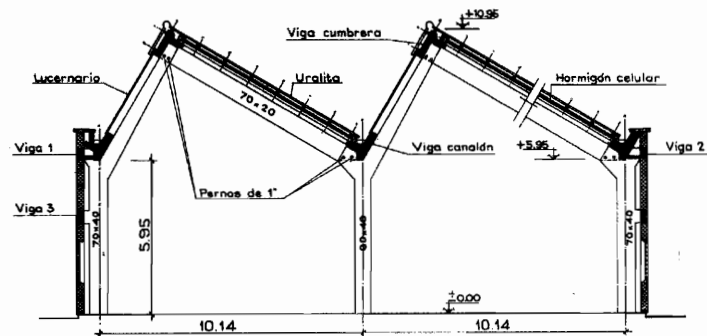
En este caso se construyeron dos naves diferentes de 16 m de luz. En la primera se utilizan cerchas en diente de sierra triple que se apoyan en pórticos longitudinales de hormigón armado. Los cordones de la cercha son de 20x30 y 20x40. Estos dientes de sierra triples están separados entre sí 5,5 m. En las cumbres y partes bajas de los dientes de sierra se disponen vigas en L de arriostramiento y recogida de aguas. En la segunda, la cobertura se establece en el cordón superior y en los bordes del inferior. Los elementos son de 20x20 a 50x20. Están separados entre sí 5,5 m. La superficie es de 72x33 en la primera y 38x16 en la segunda.



### Metalúrgica de Santa Ana (1956-1957) y Lacas Mari (1959)

Se trata de dos naves muy parecidas. En Metalúrgica de Santa Ana se trata de naves de 90x40,56 cubierta por dientes de sierra en módulo de 15x10,15. Se proyectó la estructura totalmente premoldeada, organizada en pórticos transversales con dinteles en diente de sierra sin tirantes y vigas longitudinales en cumbre y canalón. Entre ambas vigas se dispone el forjado de viguetas y placas de hormigón celular.

Metalúrgica de Santa Ana en construcción y sección transversal de la nave.



En Lacas Mari el concepto de diente de sierra es igual, aunque aquí se establece una modulación más pequeña, de 9,75x3. La proximidad entre los pórticos permite establecer una cubrición directa de placas de Durisol de 12 cm.

*Nave de Fundición de Endasa - Avilés (1956-1957)*

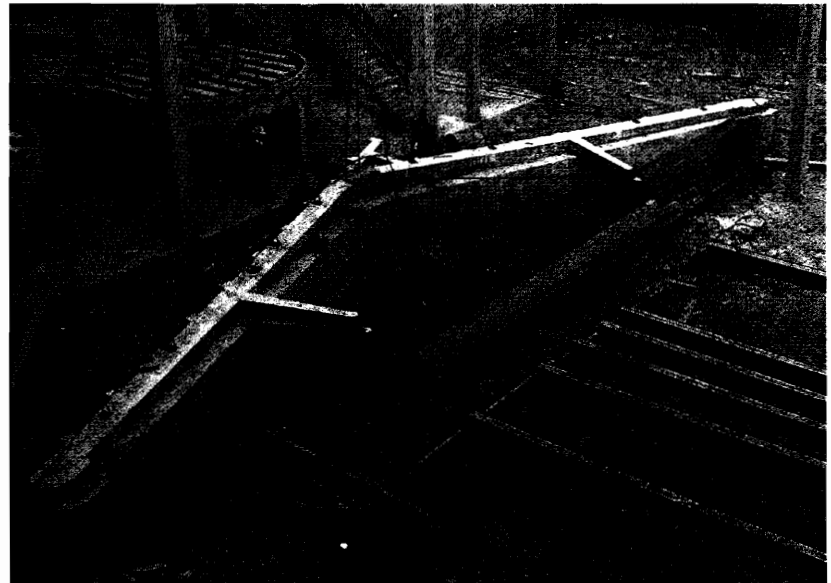
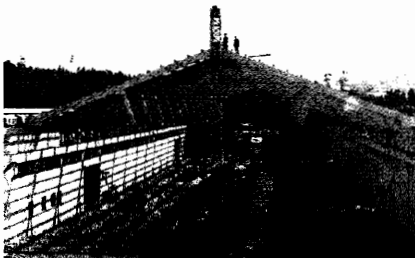
Es una nave formidable, muy grande, con cubierta a dos aguas de 30,7 m de luz por 131 m de largo, modulada a distancias de 5,9 m.

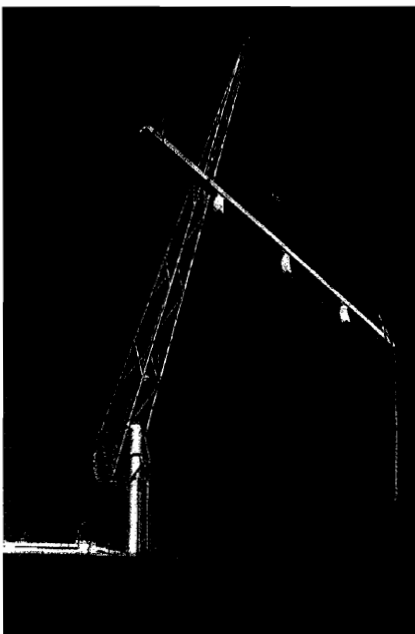
Las cerchas se dividen en dos partes para construir y montar. Se apoyan en los pilares de borde y entre sí a través de una articulación provisional que se solidariza posteriormente, una vez que se han soldado los tirantes inferiores. La dilatación de la nave se recoge por medio de bielas de hormigón situadas encima de las pilas. La cobertura se realiza con placas de uralita apoyada sobre viguetas de 28x12.

Esta misma tipología, pero con dimensiones más pequeñas, 16,25m de luz se realiza en la segunda nave de lixiviación para Española de Zinc.

(pag. 64) Prefabricación de elementos diversos y Acueducto sobre el río Najerilla: vista general y proceso constructivo.

Nave de fundición de Endasa: vista general de la obra durante el proceso constructivo y las cerchas.





### *Interlborce (1962)*

POR primera vez se realizan cerchas de hormigón armado prefabricadas y continuas.

Cada cercha comprendía dos vanos sobre tres apoyos. La cercha prefabricada se dividía en tres partes, una central sobre la pila intermedia y dos laterales que se apoyaban sobre la zona central – en junta a media madera en el cordón superior –. Posteriormente se daba continuidad a los nudos dejando la cercha definitivamente como viga continua.

### *Elementos diversos*

ADEMÁS de los elementos principales descritos, son muchos los elementos prefabricados que se realizaron en estas fábricas: placas, vigas de puente-grúa, en número de 4160 para las factorías de Avilés, distintos tipos de viguetas, etc. Se realizó un enorme esfuerzo, en una época que no existía casi nada en nuestro país. Este trabajo ha pasado hoy en día a empresas especializadas.



### *III. Tres Acueductos*

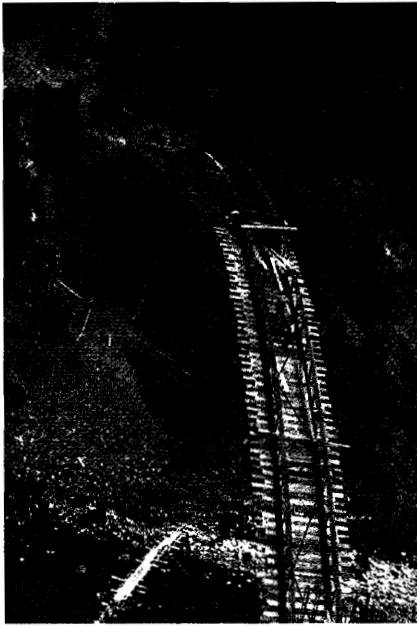
ENTRE las obras enfrentadas y resueltas por Fernández Casado, los acueductos fueron lugar de experimentación de procedimientos de construcción dentro de la tipología de puentes arco.

#### *Acueducto sobre el río Najerilla (1944)*

SIRVE este acueducto para el cambio de ladera del canal de la conducción del aprovechamiento hidráulico de la Retorna. La estructura está formada por un arco de 60 m de luz y 16 m de flecha que soporta el cajero que transporta el agua, cuyas dimensiones son de 1,8 x 1,8 m, idénticas a las que trae la conducción general. La longitud total tiene 105 m, de los cuales 25,75 m y 16 m, corresponden a los tramos de acceso, independientes, por junta total del acueducto principal que se puentea sobre el arco.

Este tiene 60 m de luz, 16 m de flecha y directriz parabólica de segundo grado. Está constituido por dos anillos de sección rectangu-





lar de 0,6 m a 1,1 m. Están separados 1,85 m entre sí y se enlazan por riostras transversales de 40 cm de anchura.

Los pilares de enlace entre el cajero y el arco son de sección rectangular de 40x55 cm. El cajero tiene losas verticales de 25 cm y horizontales de 20 cm.

El procedimiento de construcción fue la utilización de la *armadura rígida*, método de Melan-Ribera, reduciéndose ésta a un mínimo, dada la penuria de acero en la época de construcción. Se dispuso un solo cuchillo metálico por arco y ambos cuchillos se arriostraron entre sí por perfiles. El conjunto se amarró a las márgenes mediante seis pares de cables a cada lado. De esa estructura una vez montada se colgó el encofrado que permitía el hormigonado de los arcos. A la armadura rígida formada por angulares se le añadieron redondos de armadura.

#### *Acueducto del pantano de Cubillas (1954)*

EN una arcada múltiple, 8 parejas de arcos prefabricados de 20 m de luz sostienen un cajero de 1,95 m de canto por 3 m de ancho.

La cimentación era directa y muy simple, salvo en tres pilas donde hubo que recurrir a pilotes de madera. El cajero de 1,75 x 2,5 m de dimensiones útiles tiene unas paredes verticales de 15 cm y horizontales inferiores de 20 cm. No existe tapa. Las cabezas superiores del cajero se atirantan en cabeza por medio de vigas de 20 x 25 cm<sup>2</sup> situadas en los puntos de apoyo de los pilares que lo relacionan con el arco.

Son dos arcos prefabricados de 60x25, separados entre sí 2,25 m. Se izaron junto con los pilares ya hormigonados desde su lugar de ejecución, que fue bajo su situación definitiva. En principio se pensó en subir los dos arcos unidos pero finalmente se desistió de la idea, subiendo uno por uno debido a la falta de capacidad de izado de la grúa.

Durante el proceso de hormigonado del cajero se unieron los extremos de los arcos con tirantes para evitar que éstos introdujesen empujes desequilibrados sobre las pilas.



Accediendo al embalse de Gabard y Galan (1961) sobre el río.

Fig. 150. Accediendo sobre el río Nájera, en el centro del arco y Acabado sobre el Zantano de Calillas (posponiendo el río).

Las pilas son de hormigón en masa, de sección rectangular variable según escalones que van produciéndose a 3,5, 3,2 y a 3,00 m por debajo del nivel de apoyo de los arcos.

#### *Acueducto del embalse de Gabriel y Galán sobre el río Aragón (1969)*

En este caso Fernández Casado adopta una solución tipo Maillat para un acueducto formado por cuatro arcos de 60 m de luz.

Esta disposición es especialmente útil para acueductos pues se cuenta con dos ventajas evidentes para realizar arcos delgados. El primero es la carga que siempre es articular y uniforme. El segundo lo constituye la rigidez del cajero que podría repartir cualquier carga no uniforme.

El único problema, el principal inconveniente es la construcción, debe hacerse con cimbra apoyada en el suelo que no se puede quitar hasta que está totalmente acabado el acueducto.

#### *IV. Arcos Timpano*

A lo largo de su trayectoria, Fernández Casado, proyectó y construyó

Puente sobre el aliviadero del embalse de Cubillas, vista frontal.

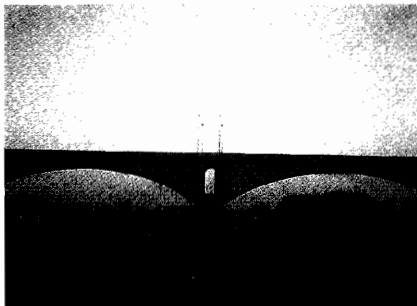


yó tres puentes con la estructura principal en arco t́mpano. Son el puente sobre el aliviadero del embalse de Cubillas (1954) formado por un arco t́mpano de 49 m de luz, el puente de Mérida (1955) formado por 8 vanos en arco t́mpano de 60 m de luz y finalmente el puente sobre el Caudal en Mieres (1967) formado por un solo vano de 70 m de luz.

En los tres puentes utiliza el mismo diseo: disposici3n de una serie de *cuchillos* longitudinales, 2x3 en Mérida, cuatro en Cubillas y cinco en Mieres. Cada uno de estos *cuchillos* se compone de dos partes. Un arco inferior rectangular sobre el que se conecta y hormigona el tabique superior que constituye el t́mpano, sobre el cual se dispone la losa superior del tablero.

Los arcos inferiores tienen una directriz en forma de catenoide, correspondiente al antifunicular de carga permanente y una sobrecarga de 60 t en clave. Son prefabricados y triarticulados en fase de construcci3n. Se prefabrican siempre de la misma manera: semiarcos, en posici3n vertical sobre cama fija, algunas veces bajo su situaci3n definitiva. Elevaci3n con grúas para apoyarlos en salientes dejados al efecto sobre las pilas 3 los estribos y apoyo de uno contra otro en clave por medio de una articulaci3n provisional. Una vez apoyados entre sí se arriostran con varias vigas transversales y se sueltan.

Puente de Mérida: detalle de pila y proceso constructivo.



A continuación se hormigonan los tímpanos, perfectamente unidos a los arcos prefabricados y después se hormigona la losa del tablero. Esta se realiza por zonas, de 2,5 m de ancho normalmente, siempre de manera simétrica y controlando que en la estructura inferior de los arcos no se produzcan flexiones no resistibles.

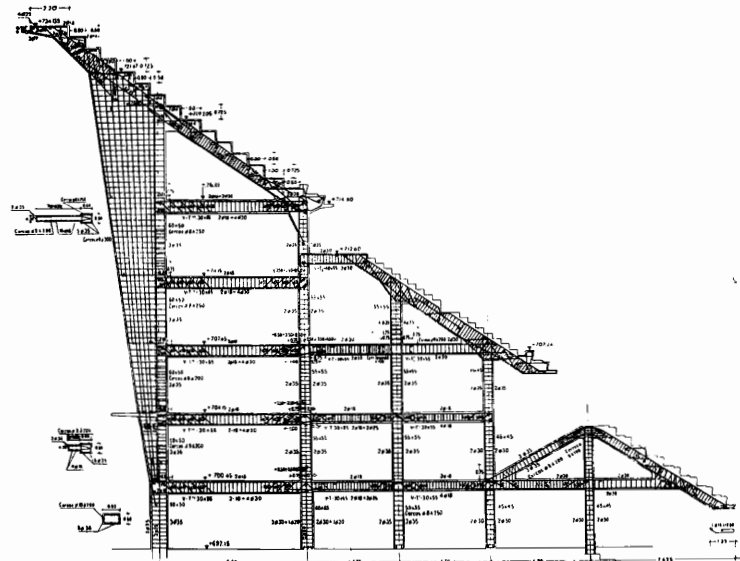
El procedimiento que pone a punto Fernández Casado resuelve, para muchos casos, un problema arduo en la construcción de puentes arco: la cimbra clásica es cara, incómoda y molesta y su supresión ha sido el objetivo de muchos ingenieros a lo largo de muchos años. Fernández Casado, con las posibilidades de medios y maquinaria de la época, resuelve en una misma operación la supresión de la cimbra y la ejecución de la obra por prefabricación.

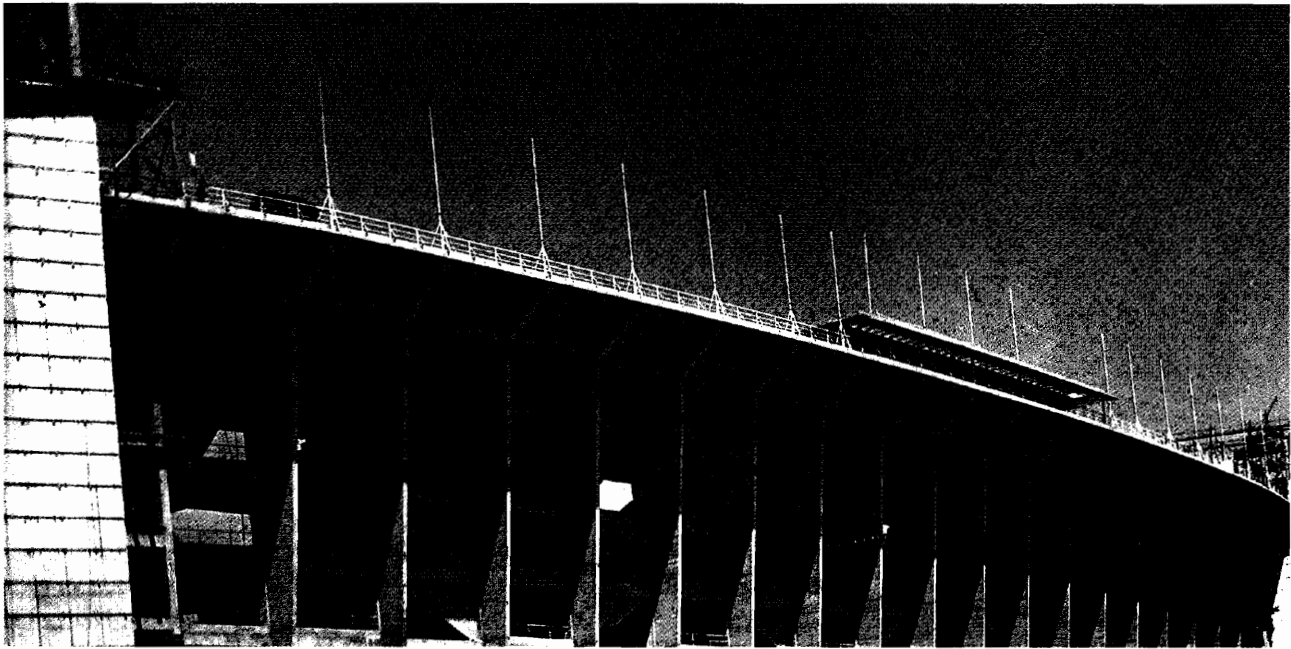
## V. Obras de Edificación

### *Estructura del estadio Bernabeu (1945-47) y estructura de la tribuna de ampliación del mismo estadio (1955)*

CON los arquitectos Manuel Muñoz Monasterio y Luis Alemany, Fernández Casado en colaboración con Ignacio Vivanco diseña y calcula el proyecto de construcción del Estadio Santiago Bernabeu.

Tribuna del Estadio Bernabeu, vista general del interior y plano de la sección de un entrado.





Tribuna del estadio Bernabeu, vista general del exterior.

Esta estructura consta de dos galerías independientes, colocadas de modo que la inferior vuela en su totalidad sobre la gradería directamente asentada en el terreno y la superior, aunque paralela a ella, queda independiente y desplazada hacia arriba para mejorar la visibilidad y facilitar los accesos.

Las vigas donde directamente se instalan los graderíos son de 60x40, las vigas que soportan las plantas horizontales son de 55x50 y los pilares, separados entre sí 5 m, son de 40x40 en fachada, 55x55 los intermedios y 45x45 los siguientes. Estos pórticos se separaban entre sí 7 m. Se estableció una visera de 10 m de voladizo en la parte superior.

Fernández Casado proyectó la ampliación de la tribuna en la zona general añadiendo dos crujeas organizadas en pilares verticales, vigas y forjados hasta alcanzar la superficie inclinada de la galería prolongada.

*“Nosotros propusimos la supresión de una de estas dos crujeas con sus correspondientes pilares, vigas y forjados, soportando la extremidad*

*de la carga a la fina de pilares subsistentes. Se creaban de este modo unas células trapeziales y triangulares muy convenientes para la rigidez del conjunto. Nuestra proposición determinó un reajuste, ampliándose en un metro la cruzía superviviente y macizándose las células trapeziales y triángulos que habían aparecido”.*

*“Dada la gran altura de la nueva construcción, una de las solicitudes más importantes es la del viento, que puede actuar en uno u otro sentido, ya que la gradería de preferencia no sirve de protección para un viento con inclinación de 10°.*

#### *Cubierta del estadio de San Mamés (1952)*

ESTA cubierta fue objeto de un concurso adjudicado a Fernández Casado con los arquitectos Dominguez Salazar, Magdalena y de Miguel. Se trata de la cobertura de la tribuna principal de 115,5x28 m. Toda la estructura es metálica.

Esta cobertura se realiza por medio de una serie de vigas transversales de 28 m de longitud, separadas entre sí 6 m, que por uno de sus extremos se apoya en el graderío y por la parte delantera cuelga de un arco atirantado doble de 115 m de luz. Cada uno de los arcos está formado por una sección cajón de 1,774 m de canto por 50 cm de anchura y está constituido por chapas de 10 y 12 mm. El tirante, que cuelga del arco y soporta las vigas transversales es una viga cajón de 400x190. El arco es triarticulado.

La construcción de los arcos se hizo de manera similar a como después, Fernández Casado, realizó muchas otras cubiertas y puentes. Los arcos se dividían en dos mitades, que se montaban sobre



Estadio San Mamés en construcción.

andamios construidos sobre los graderíos. Se construían en posición abatida para después, por medio de una torreta central, izarlos a su posición definitiva.

El arriostramiento de los arcos se realiza por pequeñas vigas cajón dispuestas en cruz de San Andrés entre los dos arcos que distan entre sí 6 m.

#### CUBIERTAS COLGADAS

SON dos las cubiertas colgadas que realiza Fernández Casado: Cubierta colgada para el Pabellón del INI en la feria internacional agrícola de la Casa de Campo de Madrid y el Picadero cubierto del Club de Campo.

#### *Cubierta del Pabellón del INI (1953)*

ESTE edificio tiene una superficie formada por un rectángulo de 38x15 al que se adosa un semicírculo de 38 m de diámetro.

Toda la cubierta está soportada por una torre rectangular de 8 x 6,5 m<sup>2</sup> y 15 m de altura. De esta torre que consta de paredes de hormigón armado de 50 cm y 60 cm salen dos ménsulas con una luz máxima de 12,7 m terminada en una viga semicircular concéntrica al muro exterior de la zona exterior. Por encima del nivel de la viga, la torre está rellena de tierras que sirven de contrapeso.

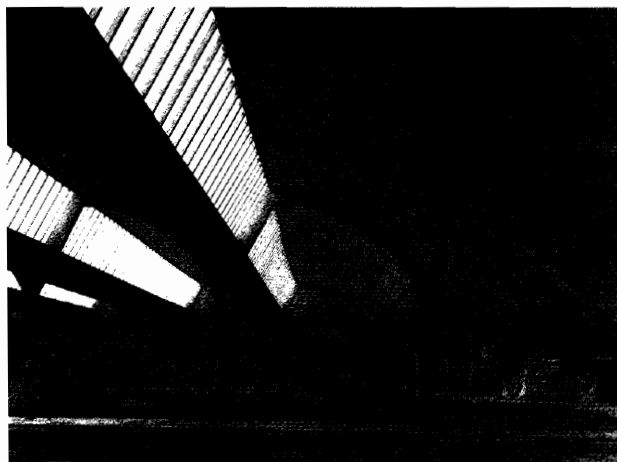
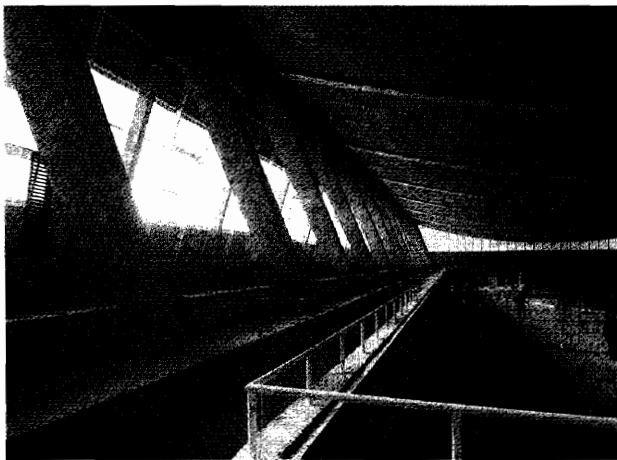
En el exterior existen una serie de contrapesos coronados con una viga de 50x40. Entre estos elementos, ménsulas que salen de la torre y contrafuertes exteriores se dispone la cubierta colgada compuesta por cables separados 3 m entre sí, en la zona rectangular y que se abanicán desde la terminación circular de la ménsula hasta los contrafuertes exteriores concéntricos. La distancia entre los cables es de 1,03 m en la ménsula circular y 4,974 m en el muro exterior.

Entre estos cables se dispone una tela metálica que se hormigona con hormigón proyectado y, sobre las ondas que forma naturalmente por la carencia de rigidez de la malla, se dispone una impermeabilización.

Esta simplísima y baratísima cubierta se realizó en dos meses, del 15 de Marzo al 12 de Mayo de 1953.



Vista general del Pabellón del INI.



Picadero del Club de Campo, Madrid.

HYTASA, vista del interior de la nave.

### *Picadero del Club de Campo (1968)*

REALIZADA con el arquitecto Juan Antonio Rodríguez Salazar, esta cubierta de 70 x 40 m<sup>2</sup> esta constituida por dos sistemas de cables Dywidag. En dirección transversal, en la de 40 m de luz está formada por una pareja de cables de Ø 26 mm y en dirección longitudinal por cables de 14,5 mm. Entre estas dos familias se encajan unas placas prefabricadas de 2,4 x 1,2 m<sup>2</sup> y 360 kg y sus juntas se rellenan, al mismo tiempo que unos nervios transversales que alojan las dos unidades de 26 mm. Una vez fraguado el hormigón se ponen en carga las dos familias de barras Dywidag que comprimen la cubierta.

La sección longitudinal tiene una ligera curva para facilitar el desagüe, ya que las flechas en la dirección portante varían entre 2,6 a 3,00 m.

Esta cubierta se ata en dos vigas longitudinales de 1,5x0,3 m que se soportan sobre dos piezas en ángulo, la más importante de sección variable entre 50x50 y 80x20, y la traccionada en puntales de 30x20.

### *Cubiertas laminares en diente de sierra (1962)*

Las cubiertas laminares en su acepción más clásica son aplicadas por Fernández Casado en varios casos: HYTASA y la Escuela de Formación profesional obrera de Barcelona. Se trata de láminas cilíndricas circulares de 60° al centro en diente de Sierra, apoyadas en pórticos transversales intermedios que salvan luces de 30 m y 25 m, respectivamente y los lucernarios están inclinados 30° respecto a la vertical.

El espesor normal de la lámina es de 6,5 cm hasta los 53 cm en los bordes longitudinales y en su unión con los pórticos transversales. El apoyo de las láminas en los muros longitudinales se realiza a través de los pórticos y los lucernarios en uno de los bordes y directamente sobre el muro trasero. Para cumplir las condiciones de borde en el muro del lucernario se dispusieron pequeños pilares de 12x75, con una esbeltez tal que su función de bielas se cumple automáticamente. En el muro trasero longitudinal, que debe permitir los movimientos longitudinales y transversales de la lámina, se han dispuesto apo-

yos de uralita que transmiten únicamente cargas verticales. En los pórticos extremos se han dispuesto pilares-bielas con doble articulación para permitir los movimientos longitudinales y transversales de la nave.

Toda la cubierta se recubre en el exterior por tres capas de fieltro bituminoso alternado con otras en fibra de vidrio.

Para la comprobación del cálculo se realizaron dos modelos reducidos, escala 1/20, que fueron ensayados hasta rotura por una sobrecarga total.

## *VI. Primeras obras pretensadas (1957-1962)*

La aparición del pretensado y su extensión por el mundo supuso un revulsivo en la construcción y por tanto propició un salto de gigante en la manera de hacer y entender el diseño estructural.

Fernández Casado se incorpora rápidamente a esta tecnología y la aplica a sus obras, estableciendo una variación técnica y formal considerable en sus puentes, que a partir de entonces empiezan a ser diferentes.

En su primer obra pretensada, las vigas trianguladas del taller de Laminación de Ensidesa, se limita a eliminar las deformaciones y la fisuración de una viga, de gran luz, extraordinariamente cargada. En seguida la nueva tecnología la aplica a los puentes, asociándola a la prefabricación por dovelas de vigas doble T, subdivisión necesaria en aquel momento por la carestía absoluta de medios de montaje. Posteriormente aumenta el tamaño de la prefabricación a la viga total en puentes como el de Negratín o de Chauchina, para volver a la dovela en los puentes construidos por avance en voladizo.

La dovela, presente desde los puentes más antiguos de piedra, está determinada por dos hechos, la configuración estructural que permite la subdivisión de la obra total en partes elementales manejables, y en segundo lugar, por la capacidad de los medios de montaje de la época, que ha variado desde la rudimentaria maquinaria romana, de pocos kilos, a los gigantescos medios actuales, capaces de mover y colocar las 9000 t del puente de Northumberland en Canadá.

Pensar una obra como dovelable y prefabricable es algo presente en Fernández Casado desde su primer acercamiento a lo constructivo. Por esta razón cuando los medios son escasos divide una simple viga prefabricada en dovelas. Cuando crecen estos medios, hace puentes en avance en voladizo por dovelas prefabricadas. Después cambia con la contundencia de los hechos. Hace una viga prefabricada entera cuando puede manejarla y no se obstina en la utilización de dovelas en los puentes en avance en voladizo, cuando el tamaño de la obra no permite una solución económica utilizando esta tecnología.

*Vigas trianguladas con pretensado parcial en el taller de laminación de la ENSIDESA de Avilés (1957)*

La planta de Laminación de la Empresa Nacional Siderúrgica de Avilés, está distribuida en ocho naves de unos 30 m de luz, con longitudes variables hasta 800 m.

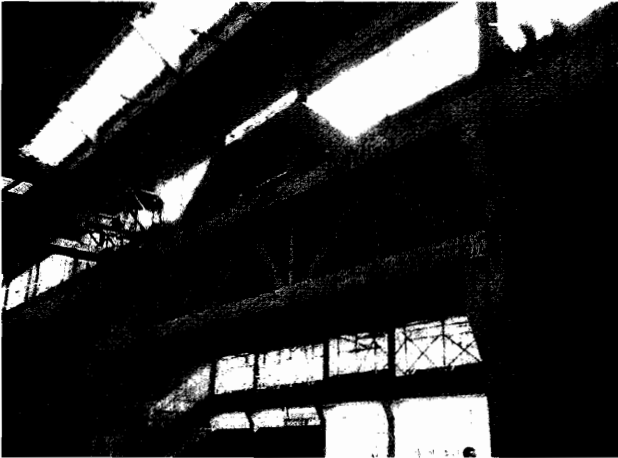
La estructura de las naves está organizada en pórticos longitudinales con pilares a distancias entre 13 y 15 m.

Estos pilares sostienen las vigas de puente grúa de naves adyacentes y los arcos transversales de las dos cubiertas.

En ciertos casos, es preciso duplicar la distancia entre pilares suprimiendo uno intermedio, por lo cual las vigas de puente grúa tienen una luz de 28 m, y además es preciso apoyar en esta viga los arcos de la cubierta. Para cumplir estas funciones correspondientes se han dispuesto unas vigas reticulares utilizando la altura de 4,22 m entre el plano de rodadura del puente y el de apoyo de la cubierta.

La viga tiene 24,5 m de luz, 4,95 m de canto, cordón inferior, por donde se mueven los puentes grúa, de 295x75 y cordón superior, sobre el que descansan los arcos de la cubierta, de 200x100. Las diagonales de 60x80 y de 50x80. Se pretensan con dos familias de pretensado (sistema Barredo) que cosen el cordón inferior y las diagonales inclinadas últimas.

El pretensado, al anular las deformaciones de tracción en las barras traccionadas, e introducir componentes inclinados en el quiebro de las diagonales, reduce extraordinariamente los esfuerzos de segundo orden en la celosía.



Vigas trianguladas del taller de laminación de ENSIDESA.

Los cálculos se comprobaron por ensayos realizados en modelo reducido.

También se ha construido una viga trapecial con función parecida a las anteriores, para sostener puentes grúas a dos alturas diferentes y dos arcos de cubierta en cada una de las dos naves adyacentes, pretensándose únicamente el cordón inferior. Su luz es de 29 m y su altura total 9.875 m.

*Puente sobre compuertas en la presa de Soto de Ribera en el Nalón. Asturias (1960-1961)*

ESTE puente sirve al paso de carretera y ferrocarril sobre la presa de Soto de Ribera, salvando con tramos independientes los vanos de sus siete compuertas que son de 16 m de luz.

El de carretera, de 7,25 m de ancho, está constituido por cinco vigas de 1,37 m de canto y 1,45 m de separación entre ellas y el de ferrocarril formado por dos vigas de 2,35 m de canto, separadas entre sí 8,8 m, entre las cuales circula el ferrocarril.

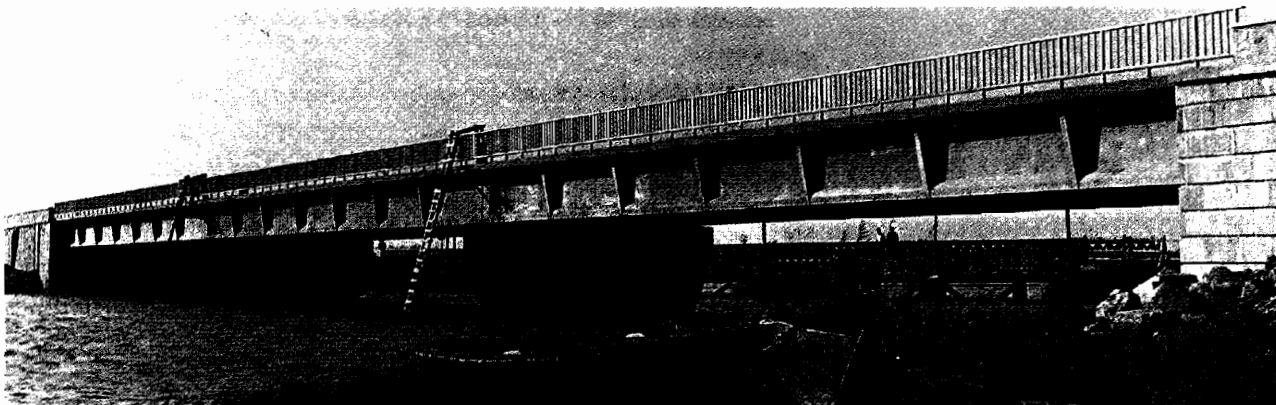
Ambos tableros se construyeron mediante prefabricación de dovelas que se ejecutaron en un taller en obra en las proximidades del puente. Cada viga, de 16 m de luz del puente de carretera, se subdividía en 9 dovelas de 1,67 m de longitud y las del puente de ferrocarril en 11 dovelas de 1,37 m de longitud.

Las dovelas se transportaban y se montaban, con junta húmeda, en el tablero adyacente y en su misma posición y se lanzaban longitudinalmente a su situación definitiva mediante el sistema de bípedes y cabrestantes, similar al que utilizaba Freyssinet en los puentes del Marne.

*Puente sobre el río Tinto en la carretera de la Rábida y Huelva*

EN este caso los 110 m de longitud del puente, lo subdivide en tres partes, tres vanos biapoyados de 35 m de luz. La anchura del puente es de 8 m y cada vano está constituido por 8 vigas de 1,6 m de canto.

Las vigas fueron prefabricadas por dovelas, para integrarse en bancadas longitudinales y llevarlas por arrastre sobre la explanación y tramos construidos, colocándose en su sitio mediante tramo metá-



Vista general del Puente sobre el río Tinto en la carretera de la Rábida a Huelva.

lico auxiliar lanzado longitudinalmente y un ripado con carritos sobre las zonas de apoyo. Fueron enlazadas entre sí por hormigonado de las juntas longitudinales y mediante ocho vigas transversales que se ejecutaron también en trozos solidarios de las dovelas. El pretensado transversal corresponde a estas vigas con cuatro unidades centradas, y al tablero, con un cable cada 0,20 m.

#### *Cobertura de la calle Aragón (1965)*

Es la última obra de las realizadas por dovelas como elemento base para la realización de vigas biapoyadas. Esta tecnología la aplica para la cobertura del ferrocarril que discurre por la calle Aragón en 200 m de longitud. La anchura útil del paso de ferrocarril era de 14,5 m lo que dió lugar a la fabricación de 132 vigas de 15,5 m de longitud.

Cada viga se dividía en once dovelas de 1,5 m de longitud, y dos extremos de 0,75 m. Las vigas tienen 1,308 m de canto y 12 cm de espesor de alma, cabeza superior de 1,49 m de ancho y cabeza inferior de 0,5 m. Estas vigas se arriostran entre sí por dos vigas transversales.

En este caso, la utilización de la subdivisión de las vigas en dovelas de 1,5 m tenía además otra razón. No existía sitio en la calle Aragón para realizar un taller de prefabricación en regla. Por esta razón las dovelas se prefabricaban en un solar fuera de Barcelona y se transportaban a la obra las dovelas que constituían cada viga. Se montaban en obra sobre una cimbra provisional, se rellenaban juntas y se pretensaban y al día siguiente se montaban.

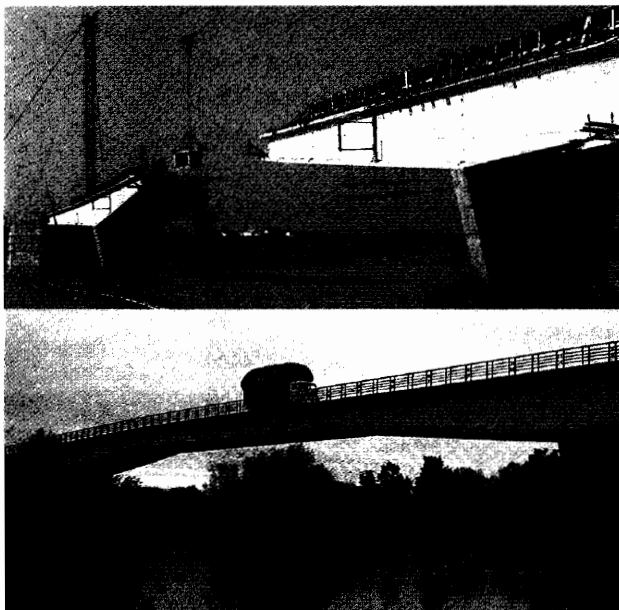
### *Puentes de Chauchina (1965) y Negratín (1967-1968)*

EN estos dos puentes Fernández Casado abandona la subdivisión de las vigas prefabricadas en dovelas y prefabrica y monta enteras las vigas doble T.

El puente de Chauchina es el primer puente construido de la colección de puentes de hormigón pretensado que estaba terminado de redactar. La colección abarca luces de 10 a 40 m, comenzando por el tablero en losa maciza hasta los 16 m de luz, a partir de este punto, la losa la aligeran hasta llegar a los 20 m, que es donde empiezan las vigas prefabricadas, como las de este puente de un solo vano formado por cinco vigas de 37 m de luz.

El puente de Negratín está constituido por tres vigas de 40 m de luz.

Puente de Almodóvar del Río en construcción (dovela) y vista general terminado.



### *VII. Puentes rectos construidos en avance en voladizo por dovelas prefabricadas*

FERNÁNDEZ Casado gana en concurso internacional, en el año 1960, el puente sobre el río Zaza en Cuba con una solución de puente construido en avance en voladizo con dovelas prefabricadas. En 1962, en el puente de Almodóvar del Río, sobre el Guadalquivir, en Córdoba, lo experimenta.

Se trata de un puente recto, constituido por un puente principal de tres vanos 35+70+35 m, y dos viaductos de acceso con luces de 20 m. El vano principal de 70 m de luz está formado por dos ménsulas de 20 m y un tramo biapoyado central de 30 m. El tablero, de 9 m de anchura, está formado por dos vigas cajón de 2,32 m de anchura y canto variable de 3 m en los apoyos a 2 m en el centro del vano.

La única zona realizada por dovelas son los 13 m delanteros de las ménsulas de 20 m. Se realizan 9 dovelas de 1,5 m de longitud.

Las dovelas se construían en la orilla. Se reproducía una sola de las cuatro ménsulas, realizando una *cama*, con la forma de una ménsula, donde descansaban las dovelas. Se construían de una sola vez las dovelas pares y una vez endurecidas, e introduciendo una finisi-

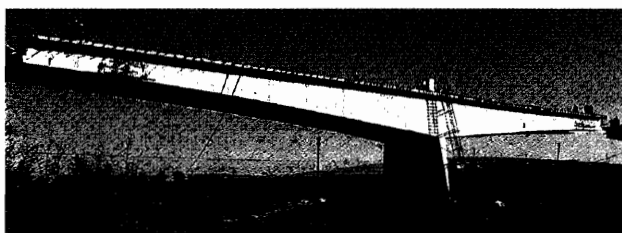
ma capa de yeso para separarlas, se hormigonaban las dovelas impares. Tenían así juntas conjugadas aunque no hiciese falta, pues en este caso, las juntas entre dovelas eran húmedas, de mortero de 5 cm de espesor. Se limpiaba posteriormente la junta con chorro de arena.

Las dovelas se montaban apoyando cada una sobre la anterior en una pequeña prolongación de la losa inferior que servía de apoyo. Y se mantenían pretensadas hasta que el mortero endureciese.

El peso de las dovelas era menor de 10 t, lo que permitía la utilización de elementos de montaje y colocación muy ligeros, únicos posibles en aquellos años de gran carestía de medios en España. El constructor de esa obra fue Huarte y Cía.

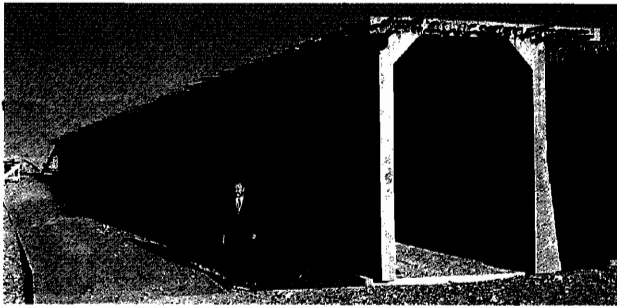
En Francia se inicia ese mismo año, 1962, la construcción del primer puente por dovelas francés, el puente de Choisy-le-Roi, pero como sus medios de montaje y su economía eran mucho mayores, las dovelas también lo eran, una por vía de circulación en lugar de dos y de más longitud, con lo que el número de juntas era menor.

EL ÉXITO del puente de Almodóvar, le lleva, en la próxima ocasión que tiene a proyectar y construir su segundo puente en avance en voladizo con dovelas prefabricadas, el puente de Castejón sobre el Ebro, (1966-1968). Está formado por dos tramos, un viaducto de acceso correspondiente al tramo de avenidas y el tramo principal formado por una viga continua de tres vanos de 25+101+50 m. En este puente se construye por dovelas prefabricadas en avance en voladizo todo el vano principal y el vano de 50 m. El puente está empotrado en las pilas y articulaciones en clave.



El Puente de Castejón sobre el río Ebro durante el proceso constructivo y vista general de la obra terminada.





El Puente de Castejón sobre el río Ebro. Fernández Casado junto a una de las dovelas.

La sección transversal, de 10 m de anchura, está formada por dos vigas cajón de 2,45 m de anchura, constante a lo largo de todo el puente, con altura variable en la obra principal desde 1,8 m en el estribo a 4,5 m sobre apoyos intermedios, para volver a 1,8 m en la articulación central y terminando en 1,25 m en su empalme con el tramo de avenidas, altura que se conserva constante en toda la longitud de éste.

En este puente se pone definitivamente a punto el proceso iniciado en el puente de Almodóvar. Lo mismo que en aquel puente, se utilizaron dovelas pequeñas, menores de 10 t, para poder moverlas y colocarlas con blondín normal, pero se cambió el modo de realizar la junta entre dovelas. En lugar de emplear juntas húmedas de hormigón, de 5 cm de espesor, se utilizó resina epoxy para realizar el pegado, reduciendo el espesor de éste al mínimo por apriete de la dovela que se sitúa contra la última colocada. De este modo no es preciso esperar más de 3 horas para proceder al tesado de las armaduras. Las dovelas se ejecutaron también en bloque, reproduciendo en la orilla los seis voladizos de 50 m, que corresponden a los dos cajones de las dos mitades del vano central y los del vano siguiente. La dovela tenía un entrante que se ajustaba en el tacón correspondiente de la dovela colocada y, de este modo, quedaba desde el primer momento soportada sobre el voladizo formado. A la hora de la aplicación de la resina, se procedía a tesar las unidades de pretensado correspondientes. De este modo se podían colocar hasta seis diarias, aunque no se pasó de tres, pues no era necesario forzar la marcha, y el arrastre de cables condicionaba el proceso.

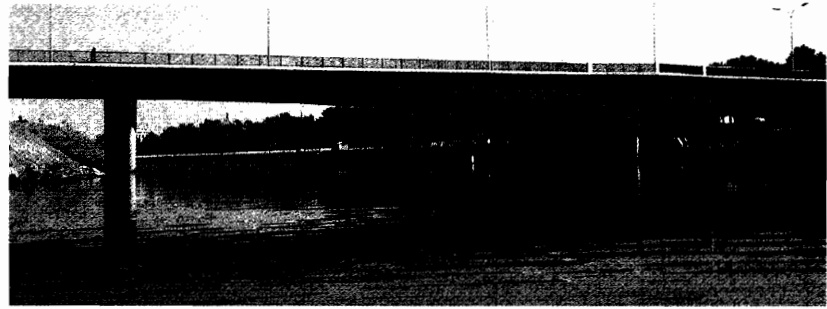
El viaducto de Iznajar, durante el proceso constructivo.



FERNÁNDEZ CASADO no tuvo que esperar tanto tiempo para empezar el tercero de los puentes construidos por este procedimiento. Durante los años 1967-68 se construye el viaducto de Iznajar sobre el río Genil en Córdoba, por la misma empresa constructora que había construido el puente de Castejón, Agroman.

El viaducto de Iznajar tiene una longitud total de 415 m distribuida en diez vanos de 20+30+42,5+55+85+55+42,5+35+30+20. Las pilas tienen 71 m de altura y la anchura del dintel es de 9,5 m.

Puente sobre la dársena del río Guadalquivir en Sevilla.



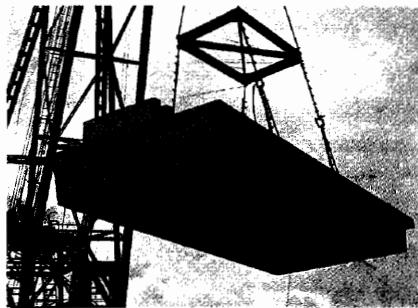
El diseño sigue las pautas de Castejón: construcción en avance en voladizo por dovelas prefabricadas los tres vanos principales, manteniendo una articulación definitiva en el centro de la luz. Las dovelas de 9 t de peso se montaban como en Castejón con un andarivel, se pegaban con resina epoxy y se pretensaban. El andarivel es el mejor y más barato medio de transporte de dovelas, pues coloca cualquier dovela en cualquier punto del dintel sin interferir ni ocupar ninguna parte del dintel construido. Tiene, sin embargo, un gran inconveniente, sólo puede transportar cargas muy pequeñas, 10 t, si se quiere que sea barato. En la época era el único medio posible.

MIENTRAS está en construcción el puente de Iznajar se empieza el puente sobre la dársena del Guadalquivir en Sevilla. Tiene una longitud total de  $142\text{ m}$  que se distribuye en cinco vanos de  $7,4 + 20,1 + 2 \times 55 + 14,2$ . Los dos vanos principales salvan el cauce, los dos extremos las vías marginales. Consta de dos calzadas de tres carriles cada una que con sus aceras producen una plataforma de  $28,5\text{ m}$ .

El tramo principal continuo dispone de una pila empotrada en el dintel y situada en el centro del cauce y dos pilas apoyadas en las orillas. En esta zona el dintel tiene canto máximo de  $3,5\text{ m}$ , sobre la pila, y mínimo de  $1\text{ m}$  en el tramo de acceso. La anchura total se divide en dos tableros de  $14,25\text{ m}$  de anchura y están separados por una mediana de  $1,5\text{ m}$ .

En este caso las dovelas no son de  $10\text{ t}$ , como en los puentes anteriores, sino de  $80\text{ t}$ , dado que en un puerto se cuenta con elementos de manejo y colocación mucho más poderosos. Además, la empresa constructora Dragados y Construcciones dispuso una cimbra donde apoyar la dovela antes de unirla en voladizo a las restantes.

Puente sobre la dársena del río Guadalquivir en Sevilla durante el proceso constructivo: montaje de dovela .



Las dovelas se fabrican, de manera similar a los puentes anteriores, sobre la orilla y se llevaban a obra mediante una gran grúa flotante. El apoyo provisional de la dovela en la cimbra evitó disponer una pestaña inferior de apoyo en cada dovela por lo que el puente de las juntas conjugadas era liso. Se procedió en el tratamiento de esta junta como en otros casos: realizar una limpieza del frente por chorro de arena y pegarlas con resina epoxy.

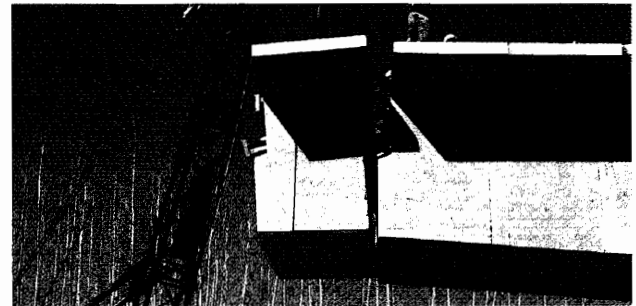
La gran polémica producida por la necesidad del denteado múltiple de las juntas conjugadas de las dovelas siempre ha contado con razones contrarias, en el hecho de que hay muchos puentes sin ellos que llevan treinta años en servicio sin ningún problema.

EL QUINTO y último puente construido por este procedimiento es el puente de los Vados realizado por Hidrocivil\* (1969-1971). Se trata de un puente muy oblicuo y de 12 m de anchura y se divide en dos semipuentes longitudinalmente separados, apoyados normalmente en las pilas. Los dos apoyos de las dos vigas cajón están instalados dentro de una gran pila oblicua. Las luces de este puente son 25+74+25. Cada uno de los dinteles tiene 3,2 m de canto en los apoyos, 1,6 m en el centro del vano principal y en los estribos.

Es de los cinco puentes señalados, el único que es continuo de lado a lado. La llave que existe entre dovelas se dispone, en este caso, en la mitad del alma y no en el talón inferior. Estas son las dos únicas diferencias con los otros cuatro, pero por lo demás, siguió el mismo proceso de fabricación y construcción investigado y resuelto en los puentes anteriores. El montaje se realizó por medio de una grúa automóvil que corría a lo largo de una península en el río Genil.

\* Esta empresa desapareció ese mismo año.

Puente de los Vados durante la construcción: las dovelas antes de iniciar el montaje y proceso de montaje de las mismas.



### *Conclusión*

DEL año 1960, en que Fernández Casado empieza con este sistema, al año 1971 en que se termina Los Vados, pasan once años en los cuales se pone a punto en España un sistema, la construcción de puentes en avance en voladizos por dovelas prefabricadas, que se interrumpió en ese año. Este sistema se repite, utilizando ya la llave múltiple en las almas, en el puente atirantado de Castejón, en 1976. Posteriormente es recogido, con gran maestría, por Ferrovial, S.A.

¿Por qué un sistema que funcionaba tan adecuadamente se interrumpe? Dos son las razones para ello. La primera era que el sistema no estaba soportado por una sola empresa constructora que lo hace suyo. En cinco puentes intervienen cuatro empresas y además, en la empresa que repite, el personal cambia; con lo que la experiencia no se puede transferir de una a otra persona. Para que un sistema de este tipo tenga éxito comercial, debe estar asociado a una empresa constructora, por ejemplo, Campenond-Bernard en Francia o Ferrovial en España. Sólo cuando las perspectivas pueden ser a largo plazo se puede invertir en medios que faciliten las operaciones.

En segundo lugar, para que este sistema sea rentable o deben hacerse muchos puentes similares o hacer un puente muy grande que garantice la inversión necesaria. Cuando se hacen puentes pequeños, en anchura y longitud, el coste de realización de este tipo de puentes es mucho mayor que si se construye *in situ*. Esta experiencia pudimos comprobarla en el puente de Priego, vecino al de Iznajar, de la misma luz y construido a la vez que éste, pero *in situ*. Resultó mucho más barato.

Estas fueron las razones de la terminación de una de las etapas maestras de Fernández Casado, con un sistema tan versátil como éste, que por ejemplo, en el puente de los Vados, en el cual la resina epoxy, por defecto de colocación y mezcla, no polimerizó en tres dovelas, no hubo sino que desmontarlas (el pretensado no estaba inyectado), limpiar la resina inútil y volverlas a colocar dos semanas más tarde. Los problemas de geometría, que son los fundamentales en el buen éxito de estas obras, se resolvieron siempre perfectamente bien.

### VIII. Cinco puentes especiales

FERNÁNDEZ CASADO era muy partidario de seguir las normas, tipológicas, pautas que él mismo establecía pero también se saltaba sus propios planteamientos básicos cuando las exigencias funcionales permitían una interpretación diferente del puente.

#### *Puente de la Chantrea-Pamplona (1961)*

SE trata de un puente pórtico de patas inclinadas de 40 m de luz en solución de cuchillos prefabricados.

#### *Puente - sifón de Bembézar (1966-68)*

SALVA el río Guadalquivir para paso del sifón de los riegos de Bembézar, a 5 km del pueblo de Posadas, habiéndose coordinado su función con la de servicio de carretera.

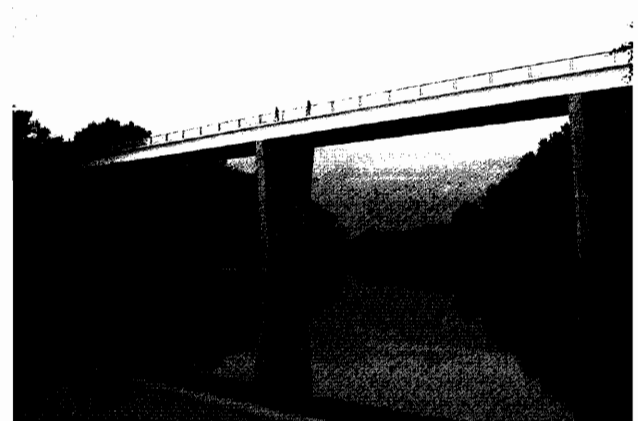
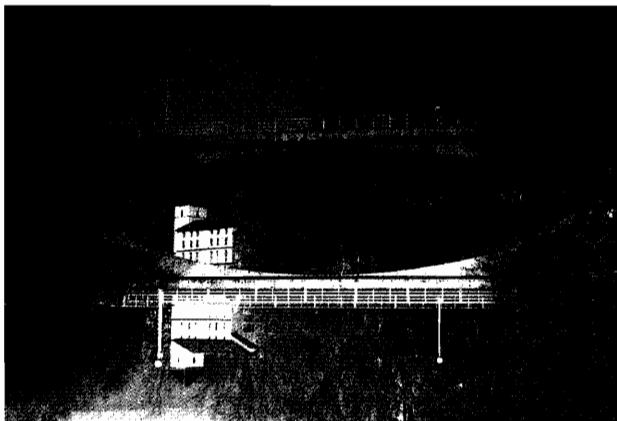
El dintel es de tramo continuo en cuatro vanos de 35 m de luz, flanqueado por dos de 30 m con voladizos de 5 m a ambos lados. Anchura total del tablero:  $8,50 + 2 \times 1 = 10,5$  m.

Las pilas y estribos son tabiques de perfil trapecial de 0,70 m de espesor. En uno de los estribos se dispone la cámara de regulación, vaciado e inspección, mientras que en la otra empalma con la obra de la zona inundable, que son tubos directamente sobre pilas.

Dintel organizado en cuatro vigas, que se prefabricaron, dos centrales tipo cajón, con aligeramiento interno celular, de 1,20 m de diá-

Puente de la Chantrea, Pamplona.  
Vista frontal.

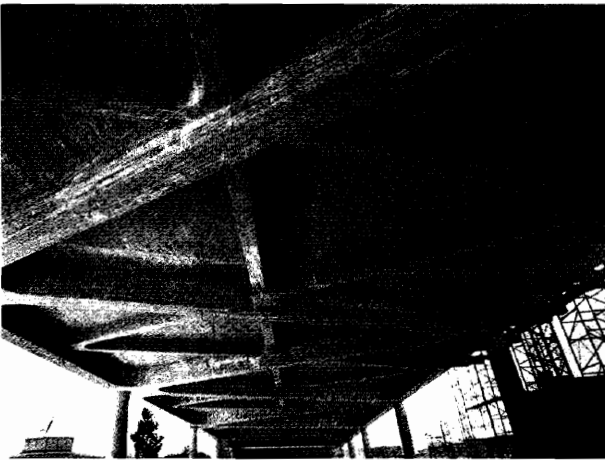
Puente sifón de Bembézar.





Puente - sifón de Bembézar. Detalle de una de las piezas prefabricadas centrales tipo cajón con aligeramiento interno.

Puente de Mauricio Legendre. Vista inferior del tablero.



metro, por donde pasará el agua a 2,5 atmósferas de presión, y otros laterales en doble T simétrica, unidas por losas, superior e inferior. Canto de 1,45 m y anchos de 2 m la viga cajón y 0,68 la doble T.

Las vigas –prefabricadas en taller de obra– se montaron como simplemente apoyadas, mediante tramo metálico auxiliar, dándoseles continuidad posteriormente por prolongación de armaduras, lo cual es sencillo con barras Diwidag. El alvéolo de la viga-sifón se consiguió mediante un tubo metálico de 3 mm que sirvió de encofrado y contribuye a asegurar la estanqueidad. Todas las vigas prefabricadas eran de la misma longitud, pues aunque los vanos laterales son de 30 m, las últimas vigas se prolongaban sobre estribos en vuelos de compensación de 5 m.

Es el puente de mayor longitud, 245 m, y uno de los primeros de este tipo construidos en España. Se han aprovechado las ventajas de la prefabricación y de la continuidad, aunque éstas últimas sólo para las sobrecargas, pero hay que tener en cuenta el carácter extraordinario de ésta por tratarse de puente-sifón.

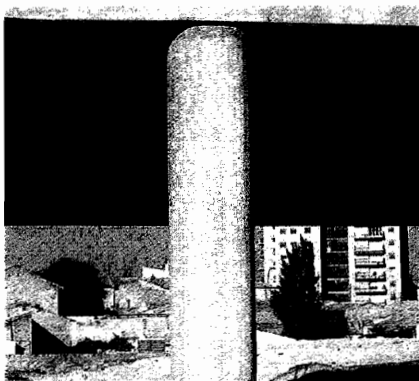
#### *Puente de Mauricio Legendre. Madrid (1973)*

ESTE puente se ha realizado para absorber el tráfico entre Fuencarral y la Plaza de Castilla, que antes pasaba por el Nudo Norte.

El problema principal de este puente radica en que se encuentra situado sobre la arteria del Este del abastecimiento de aguas a Madrid, lo que obliga a los apoyos a desplazarse a los bordes del tablero, debido al ancho total de la conducción, resultando por esto la luz transversal del puente análoga a la luz longitudinal.

Este problema se complica al estar dispuestas en abanico las vías de tráfico bajo el puente, por lo que las pilas han de disponerse oblicuamente, con ángulo variable en cada vano.

La solución que mejor ha encajado ha sido una triangulación en planta, con las vigas transversales y longitudinales de la misma sección, por tener análoga luz. En los vértices de la triangulación se han dispuesto pilas circulares cimentadas mediante pilotes, en los bordes de las tuberías inferiores. Esta triangulación se ha dividido nueva-



Puente de Mauricio Legendre. Detalle de una de las pilas y la parte inferior del tablero.

mente mediante vigas de menor tamaño que pasan por los puntos medios de las anteriores para disminuir el tamaño de las losas triangulares resultantes. La triangulación está formada por vigas rectangulares de 1 m de ancho y 1,35 de canto, más 0,25 de la losa superior. Estas van armadas con armadura pasiva únicamente.

Las luces longitudinales varían de 26 a 19,90, y la luz transversal entre vigas de borde es de 21,50 m.

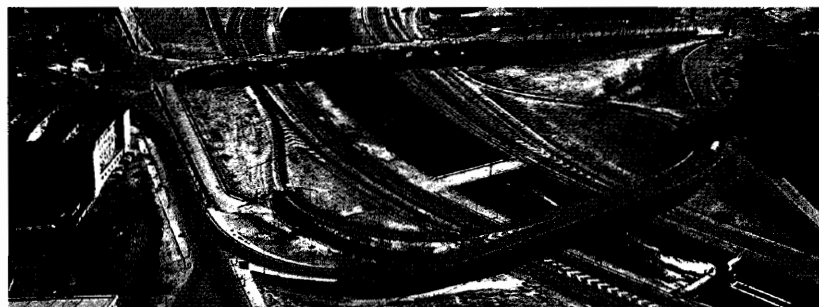
La construcción se realizó sobre cimbra convencional, dividiéndose en tres fases consecutivas.

#### *Puentes de duplicación del antiguo Puente de Toledo (1974)*

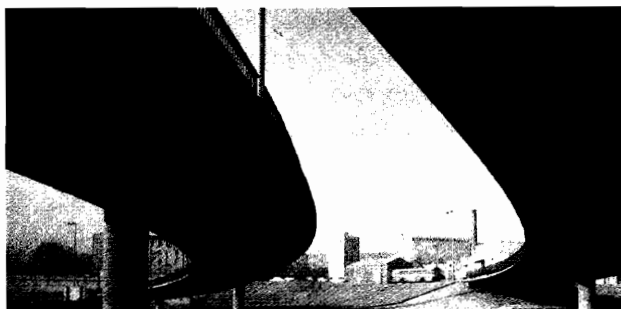
LA insuficiencia del monumental puente de Toledo para el tráfico moderno obligó a replantearse una solución que resolviese adecuadamente el problema.

Se propusieron varias soluciones, empezando por la de sustituir totalmente el puente, trasladando el actual o incluso derribándolo, ensanche tipo puente de Segovia desvío del tráfico aguas abajo, dejando intacto el actual y la que propuso Fernández Casado con el arquitecto Chueca Goitia de duplicación con tráfico separados aguas arriba y aguas abajo, dejando paso inferior a las futuras vías rápidas de ambas orillas. Después de consultas al Ayuntamiento y a las distintas Academias se aceptó la propuesta de Fernández Casado que es la construida.

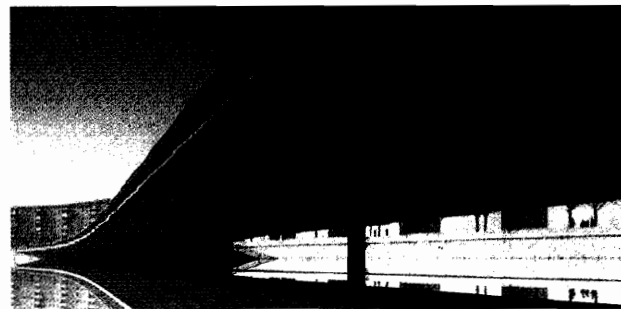
Los nuevos puentes construidos salen de los bordes de la plaza de las Pirámides, atraviesan el río a considerable distancia del puente barroco, creándose en medio el parque de la Arganzuela. Una solución perfecta.



Vista aérea de los puentes de duplicación del antiguo Puente de Toledo.



Puente de Toledo. Vista inferior de los dos tableros.



Puente oblicuo de Segovia. Vista en escorzo.

El tratamiento de los dos puentes fue idéntico, tableros muy delgados, de una extraordinaria esbeltez para ofrecer el mínimo obstáculo visual del puente antiguo cuando se pasa por la autopista del Manzanares. Por esta razón se adopta un tablero continuo de losa aligerada de cinco vanos, el cual, el central salta el río de una sola vez con un canto de 1,6 m para 45 m de luz. Esta enorme esbeltez se acentúa aún más por el perfilado de los bordes. Su apoyo está formado por pilas cilíndricas de 1,1 m de diámetro.

*Puente oblicuo sobre el Manzanares junto al puente de Segovia, Madrid (1974)*

Se trata de otra solución ejemplar a un problema difícil. La autopista del Manzanares cruza de la margen izquierda a la margen derecha con una oblicuidad tal que para cruzar 40 m de río son necesarios 155,5 m de puente. Además la altura de la rasante sobre el río era mínima como corresponde a una calzada que se desarrolla sobre la orilla.

Era entonces imprescindible realizar un tablero extraordinariamente delgado, 0,7 m en losa aligerada que puentea sobre pareja de pilares cilíndricos de 1 m de diámetro los 25 m de luz con que se ordena el puente.

Además la disposición de pilas es tal, que dirigidos en dirección oblicua de la corriente, también resultan ortogonales de cara al puente. Sin embargo, éste no puede considerarse como puente recto, sino como muy oblicuo debido al hecho de que en los estribos se mantiene la gran oblicuidad resuelta, resistentemente hablando, con una gran maestría.

### *IX. Pasos superiores en la Autopista Madrid-Villalba (1965) y Nudo manoterías (1974).*

#### *Autopista de Villalba*

LA favorable circunstancia de haberse proyectado de una sola mano los doce pasos superiores e inferiores para la autopista Madrid-La Coruña, en su tramo Las Rozas-Villalba, permitió a Fernández Casado estudiar la normalización de los inferiores, que son cinco, tres de ellos de hormigón armado y dos de hormigón pretensado e intentar la sistematización de los pasos superiores, que son los de mayor importancia y han sido realizados todos en hormigón pretensado.

#### *Losas*

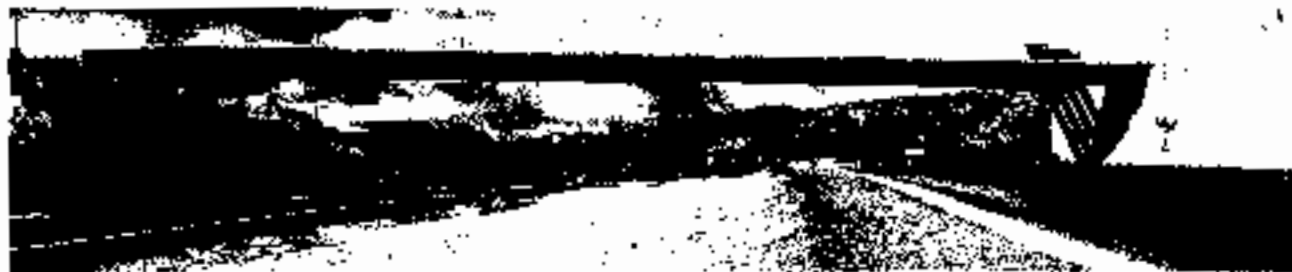
CORRESPONDEN estas losas a la Colección oficial de puentes normalizados de hormigón pretensado, que abarca modelos de losa de 10 a 20 m, disponiéndose aligeramientos circulares que reducen el peso propio a partir de los 16 m de luz.

Han sido construidas cuatro para paso de carreteras secundarias de 13 m de anchura total, con oblicuidades variables entre 20° y 25° sexagesimales, que dan luces oblicuas de 14,50 a 16 m.

El espesor de 0,60 m es constante, aunque aumenta en rebordes laterales, primero para compensar la diferencia de espesores en pavimentos de calzada y arcenes, y después, para formar bordillo de defensa contra las ruedas de los automóviles, a la par que servir de empotramiento a la barandilla.

#### *Pasos Superiores*

TENIENDO en cuenta el perfil trapecial de las explanaciones, la condición de diafanidad y altura estricta exigidas en el paso sobre una autopista, así como las circunstancias de la cimentación en granito sano —excepto el que sirve de entrada al tramo—, se adoptó, en origen, la solución de dintel sustentado en células triangulares, que se ha adaptado a las ubicaciones concretas de cada uno. En tres de ellos se consiguió la solución pura con células más o menos abiertas,



Paso superior de La Rosa

Paso superior de Hoyos de Manzanares

Paso superior de Valpurga

según se trate de autopista en trinchera o con ligero desmonte y también de acuerdo con la oblicuidad. En otro, aunque podía enterrar la solución pura, la luz total a salvar —debido a la concentración de vías de enlace— se pasaba del límite estudiado para salvar a base de un solo vano (50 m, que es la del paso de Villalba), introduciendo un apoyo intermedio reducido a su mínima expresión. En el quinto, prácticamente el primero de la serie, de un lado la cimentación —que no era sobre roca—, la necesidad de mantener el tráfico habitual de la autopista, llevó a abrir la célula triangular —deparó verticales columnas y péndolas—, convirtiéndole en un dintel compensado por varios laterales con extremidades ancladas en macizos de hormigón.

La discrepancia máxima respecto al tipo elegido se da en los



Paso superior de La Navata

Paso superior de Villalba

Paso superior de Sierra de Guara

pasos de La Navata, donde el alejamiento entre vías fracciona el paso en días —con luces más pequeñas que las restantes— y las condiciones vales imponen unas rasantes forzadas por su gran pendiente en ambos y que se quiebran a doscientos sobre uno de ellos. En estos casos, el tipo inicial se distiende hasta una solución intermedia entre el pórtico en  $\pi$  con patas inclinadas y el arco solidario del tablero y sin montantes. La prolongación del tablero hasta los estribos, amoldados a las laderas, evita el anclaje de sus extremidades.

Las luces principales van desde 25 m en una de las de La Navata hasta 50 m en el de Collado-Villalba, yendo las longitudes totales de abstel desde 31 a 72 m. Para construir la celada triangular se inclinaron hacia el centro los elementos de composición, que son columnas



Paso superior de las Rozas. Proceso constructivo.

Detalle de célula triangular en el paso superior de Galapagar.



circulares de 60 cm, aprovechando la distancia desde el vértice inferior al borde de arcén, que están separados por la cuneta, con lo cual se produce una mejor compensación entre los tres vanos del dintel—reduciendo, además, la luz central— y se consigue un mejor funcionamiento a efectos de frenado. En unos casos, las columnas se articulan materialmente en cabezas y pies, siendo en otros solidarias de dintel y cimientos, pero siempre puede considerarse articulación de la célula en vértice inferior, lo cual establece las mejores condiciones para asiento de apoyos y variaciones de temperatura.

En todos los dinteles se ha adoptado la solución de losa aligerada con alvéolos circulares en las zonas de altura constante y células rectangulares en las de altura variable. Los espesores de la losa varían en zonas laterales con acartelamientos rectos, permaneciendo constantes en zona central, excepto en el paso de Las Rozas, donde—al construirlo en dos mitades voladas— se dispuso intradós curvo. Sólo se utiliza como zona resistente una parte de la latitud total, volando dos zonas marginales de espesor variable con cara inferior en plano inclinado, que se enlaza—del modo más sencillo— con los costados de la losa—también inclinados—, a fin de conseguir un efecto de diafanidad y facilidad de paso. Desde abajo, hay siempre

superficies continuas, generalmente planas, con intersecciones muy estudiadas, a fin de obtener el mínimo de elementos aristas y vértices en la articulación de superficies.

Con el mismo objeto fueron elegidas también las formas más simples en los apoyos –columnas circulares de 0,60 m en las laterales y de 1 m en la única central–, que tienen la cualidad importante de presentar idéntico aspecto desde cualquier punto que se miren. En cambio, en las pequeñas obras de La Navata, donde la inclinación resultaba excesiva para columnas, se dispusieron apoyos rectangulares de sección variable muy afilada hacia los pies. Las péndolas, es decir, los elementos a tracción adaptados al terreno natural o artificial de desmontes o terraplenes, fueron combinados en una geometría sencilla para dar rigidez al conjunto en su plano, cambiado de acuerdo con la oblicuidad hasta constituirse en pantalla para el más oblicuo. Sólo el paso de Las Rozas es ortogonal; en los otros, la oblicuidad varía desde 10° a 50°.

*Nudo Manoteras, Madrid (1974)*

Se trata de una extensión de los modelos utilizados en la Autopista de Villalba. Está formado por cuatro obras. Dos principales sobre la Autovía de Burgos en su salida de Madrid, y otras dos más reducidas, que sirven para establecer los lazos de unión.

Las dos obras principales están formadas por losas aligeradas continuas de tres vanos. Sus luces son 12,8+40+12,8m. Longitudinalmente, el dintel es acartelado con cantos que varían entre 1 m y 1,5 m, y se aligeran interiormente con tubos de 0,7 m de diámetro. El soporte de estos dinteles está constituido por columnas cilíndricas de 0,8 m y por péndolas en el extremo de 0,3 m.

La construcción de estos puentes se realizó *in situ* sobre cimbra apoyada en el terreno.

JAVIER MANTEROLA ARMISEN

Septiembre, 1997

n o c h e d e g a l l o



n o c h e d e g a l l o

n o c h e d e g a l l o

## *Artículos: fragmentos*

### Noche de “Gallo” <sup>(1)</sup>

ESTE trabajo corresponde a mi intervención en la “manifestación vanguardista” del grupo “gallo”, que editó la revista de este nombre dirigida por Federico García Lorca, en Granada. Esta revista coetánea de Litoral, Mediodía, Papel de Aleluyas, etc. dió a la luz sólo dos números en el año 1928 y además intercaló entre ambos otro con el título de “pavo”, quitando la ocasión de crítica fácil, al grupo de “literatos” locales. Complemento oral de los números indicados fue esta manifestación que organizó don Fernando de los Ríos, desde el Ateneo de Granada. Con esta ocasión me incorporé al grupo, pues entonces desarrollaba mi actividad ingenieril en esta provincia.

El programa del acto, escueto hasta el punto de no dar fecha, lleva en portadas el título de “noche de gallo” cinco veces repetido en líneas horizontales con tinta azul, cruzadas por una vertical en amarillo cerca del borde izquierdo que dice Ateneo de Granada. En el interior, los nombres de los que “intervienen” y los temas que desarrollan en el siguiente orden: Joaquín Amigo Aguado, Arco; Manuel López Banús, Invitación al optimismo; Carlos Fernández Casado, Ingeniería: maquinismo y arquitectura; Enrique Gómez Arboleya, Modos de ausencia; Francisco Menoyo, Nueva arquitectura; Federico García Lorca, Sketch de la pintura moderna. Cierra en cuarta plana, dando fe, un gallo de Peinado.

### *Noche de “Gallo”*

VICTOR HUGO pedía en nombre del Arte que las locomotoras aparecieran como dragones vomitando llamas, pero Vds., señoras y señores, no reclaman formas de pájaro para los aviones, ni se entristecen porque de los trasatlánticos hayan desaparecido los mascarones de proa.

### *Maquinismo*

LA máquina realiza la adecuación entre la voluntad del hombre y la armonía universal. El ingeniero proyecta la máquina resumiendo en ella el conjunto de intuiciones y experiencias que supone una alteración en la economía universal –la Naturaleza reacciona-, siendo necesario, para que la máquina se logre, llegar a un equilibrio entre ambas: voluntad del hombre que la impulsa, armonía universal que la limita.

Pero este equilibrio es transitorio, pues el hombre enriquece sus conocimientos a costa de la máquina y surge una nueva visión, una nueva imagen, una nueva teoría, mediante la cual realiza una máquina más perfecta, para la que la reacción de la Naturaleza es menos intensa y le permite avanzar más en la realización de su ideal.

Y la máquina va siendo cada vez más bella, porque va conformándose en lo natural; va siendo cada vez más útil, porque va adecuándose al fin para que se creó.

La máquina más pura es el avión, que impulsado por ansia de velocidad, se moldea al viento. El avión lucha contra la resistencia del aire que lo sustenta, y progresa afinándose, haciéndose más ágil, el roce del viento que él mismo se crea lo va alisando, y cuando un tipo ha cumplido su realización, el nuevo que nace viene ya informado por el viento que deformó al anterior. La presión de la Naturaleza es cada vez más intensa, el hombre se limita a registrar fielmente el suceder.

La locomotora ha logrado su majestuosa presencia bien simplemente, por opuesto camino al que señalaba Victor Hugo. Había que conseguir una máquina de vapor sobre ruedas, de máxima potencia y elevado rendimiento. La presión del vapor conformó el cilindro de su caldera, que fue expansionándose hasta quedar limitado por la oquedad también cilíndrica de los túneles –presión de las tierras- engulléndose su propia chimenea.

Las motonaves no han podido ser tan sinceras. Cuando se aplicaron los motores de aceites pesados al navegar, fue un momento emocionante, pues este nuevo sistema de propulsión hacía inútiles las chimeneas. Pero los ingenieros navales colocaron sobre la estructuración horizontal de las cubiertas los cilindros tradicionales. Les dio miedo imaginar un trasatlántico que navegara sin chimeneas.

El automóvil es la máquina más cercana al hombre, sus necesidades muy concretas y varias, por eso la diversidad de tipos, desde el coche de carreras al pariente terrestre más próximo del avión. En silueta hace la síntesis de dos rectángulos: un rectángulo horizontal –la velocidad-; un rectángulo vertical –el confort-.

El hombre consigue en las máquinas prolongaciones de su fisiología, amplificadas en potencia: máquinas-herramientas, o afinadas en habilidad: mecanismos automáticos.

Se va hacia formas naturales, pero no hacia formas existentes: ni el avión es el pájaro, ni la locomotora el dragón.

El avión tiende a convertirse en la solidificación de su estela.

### *Arquitectura del ingeniero*

La fórmula de Le Corbusier para la arquitectura del arquitecto: “juego sabio, concreto y magnífico de volúmenes agrupados bajo la luz” es inadecuada al ingeniero; no se trata de volúmenes sino de masas que pesan y resisten. La arquitectura del ingeniero arraiga en lo cósmico, forzándole a una actitud ascética ante la Naturaleza, contención estoica frente al atractivo de lo superfluo; actitud no intemporal, pero sí independiente de las modas.

Sus obras responden a ideas claras y sencillas, al modo cartesiano ha de dar geometría a la función y encauzar esfuerzos que plasman la estructura, materializándola por los procedimientos constructivos más convenientes y empleando los materiales más adecuados en cantidades estrictas. Todo esto equivale a introducir la menor alteración en el orden universal. Existe un mínimo absoluto que es la inacción, no construir, el mínimo inmediato es la obra del ingeniero.

Esta aspiración a la mínima perturbación en lo natural, al transformar sus materiales y energías, destaca lo económico como categoría suprema de lo ingenieril. No hay más que comparar dos soluciones del problema de cubrir un espacio: la catedral gótica y los hangares de Orly. La complicada ordenación de nave y cubierta con arcos, pilares, arbotantes, contrafuertes y pináculos, queda sustituida por una continuidad en curva cuya fórmula se conoce.

Como el repertorio de funciones a realizar es limitado, los casos se repiten con características análogas y la experiencia adquirida, permite llevar a cabo una obra mejor que todas las anteriores, la cual subsiste en tanto hay equilibrio de esfuerzos y sirve en cuanto cumple la función, apareciendo su evolución en realizaciones sucesivas, como la de un organismo viviente impulsado y guiado por el ingeniero. Este ha de sentir un auténtico “eros” por la Naturaleza.

La obra de ingeniería se proyecta en el paisaje, ostentando las formas más puras y simples. Debe destacar como el menhir, verticalidad que da acogida al hombre; para la horizontalidad ha inventado el artificio del puente.

En las *vías de comunicación* tenemos servicio para un tráfico, a realizarse en los elementos naturales y dentro de las posibilidades técnicas. El tráfico determina al servicio, que reacciona sobre él, ambos limitados por nivel técnico, el cual está a su vez definido por tráfico: —máquinas— y por servicio: —vías—. Y esta interdependencia, armonizada en velocidad: incrustación del espacio en el tiempo.

El automóvil nacido bajo el signo de la máxima velocidad lograda, se lanza en la carretera hacia el viaje feliz sin derrapaje en las curvas. Despliega sus formas concentradas al rodar de su carrera —cuño impresor— dejando huellas de esfuerzo motor y fuerza centrífuga. Y la carretera, tensa de velocidad, tiende a rectificarse en un estremecimiento de todas sus curvas.

En las *obras hidráulicas* hay que llegar al dominio del agua, elemento dominador por excelencia, definidor del plano horizontal. Para lo cual es preciso sumisión a sus leyes. Un profundo conocimiento del mecanismo del agua permite prever la manera como ésta ha de comportarse, y se proyectan las estructuras, anquilosando el movimiento como moldes que solidifican el venidero continuo fluir.

Se siente la intensa preocupación de causar la mínima inquietud en su curso, de obtener una circulación sin espuma, ni remolinos. Y cuando el agua llega, encuentra el camino realizado en la contraforma de su propio perfil. Y todo este trato amoroso, es, a veces, para utilizarla al máximo, para cobrar hasta el último HP posible de su energía.

La *industria* realiza la transformación de primeras materias en objetos útiles. Transformación para lo útil, rendimiento óptimo, esencia de lo económico; por esto es campo de germinación de organismo económicos: empresa, trust, cartel, etc., y ambiente para la producción de fenómenos financieros. Lo económico hunde sus garras en lo industrial y se llega hasta la explotación del hombre por el hombre.

Pero tiene todavía un sentido más cruel la explotación de la Naturaleza, arrancándole los elementos para dominarla. Se destroza un monte para construir un puerto, se mina la corteza terrestre para extraer materiales que se combinarán en arquitecturas y máquinas sobre la superficie, o retornarán al suelo portadores de fertilidad.

En esta ordenación de las modalidades ingenieriles, según el grado de libertad en la iniciativa, llegamos por último a la *agronomía*: dominio de la Naturaleza bajo su aspecto de mayor ternura: Madre Tierra.

Se influye en la evolución de las especies, ayudándolas en su adaptación al medio, mejorando sus condiciones de vida y actuando en determinadas direcciones para conseguir especializaciones previstas.

Pero sobre este designio benéfico de favorecer la realización de las posibilidades vitales de las formas organizadas, está el propósito brutal de obtener frutos todo pulpa, anulando en ellos la idea de trascendencia.

Y en nuestra edad geológica —vejez de la Tierra—, el ingeniero ha llegado a ser el agente geomórfico por excelencia.

## Teoría del arco <sup>(2)</sup>

### *La arquitectura del ingeniero*

El ingeniero actúa impulsado por una *voluntad ilimitada de dominio de la Naturaleza*; perturba la armonía existente instaurando una nueva que le proporciona una ventaja de orden material.

SE enfrenta con la naturaleza para determinarla —primera actitud de dominio—; la somete a la simplificación de los números y la geometría para imponerle un puente, un camino, un avión. La potencialidad de la obra —limitación de su voluntad por los elementos naturales— estriba en imaginarla dotada de todos los equilibrios: geométrico, hidráulico, mecánico, etc. Se va a lo natural, por choque contra lo natural, reabsorbiendo su esencia.

VAMOS a examinar más detenidamente esta evolución. La arquitectura empieza por hacerse geometría para cumplir las condiciones funcionales, integrando las dimensiones geométricas de partida, y después, se concreta estructuralmente para resistir a los esfuerzos. Claro está que la estructura supone a su vez geometría, pero esta no coincide, en general, con la funcional, del mismo modo que mirando a lo mecánico, la geometría de lo funcional precisa, para materializarse, de estructura, que se agrega en parte, pero no coadyuva en el caso de no coincidencia.

LA adecuación funcional-estructural se consigue no sólo como resultado final de la obra, sino a veces también a lo largo del proceso constructivo, y la estructura evoluciona, resultando en todo momento estrictamente adaptada a la función provisional que desempeña. Tal ocurre en las estructuras evolutivas de algunos diques secos, o en las de los túneles subfluviales construidos hincando cajones inicialmente flotantes.

Esta armonía funcional-estructural-constructiva fuerza a eliminar todo lo que no ha de perdurar en la obra, y así se llega a soluciones teóricamente perfectas, tal es la de utilizar la armadura metálica como auto-cimbra en la ejecución de los arcos de hormigón armado, o la de montar en voladizo por mitades los arcos metálicos. Otro detalle constructivo, respondiendo al mismo principio, es el de utilizar en las estructuras auxiliares de montaje elementos que luego habrán de quedar con aplicación en la obra definitiva.

Lo constructivo aparece siempre limitando, pues corresponde a la técnica constructiva ir a la zaga de la teoría, y así muchas formas estructurales teóricamente desarrolladas esperan de un método constructivo para actualizar su potencialidad.

ESTAS consideraciones teóricas adquieren su valor al ser confrontadas con la realidad. En el estado actual de la técnica se logran ejemplares de arquitectura puramente ingenieril extraordinariamente bellos. Pudiera hacerse una antología de las estructuras metálicas, de hormigón y de hormigón armado. Sólo el puente de Plougastel destrona definitivamente todas las balaustradas y ornamentaciones en clave.

Hora es de que el ingeniero se descargue de la preocupación pseudo-estética y ahogue todo expresionismo funcional o decorativo, para que no construyan más depósitos elevados en forma de copa, ni se intente decorar los puentes con detalles de arqueología medieval.

### Expresión geográfica de las obras del ingeniero <sup>(3)</sup>

El grado de eficacia de la técnica actual lo indica el hecho de estar en construcción las primeras centrales de energía atómica. Las variaciones que el hombre introduce en el medio físico son muchas veces de orden comparable a las producidas por los agentes geomórficos normales. Cualquier obra de ingeniería supone una alteración en el orden de los fenómenos naturales. Es un artificio contra el cual reacciona el medio físico, siendo preciso para que la obra permanezca llegar a un equilibrio entre acción y reacción, y esto depende, en última instancia, del grado de naturalidad con que realicemos la obra. Vale la fórmula de Bacon: *Natura parendo vincitur*.

Toda obra ingenieril lleva en sí esta distensión entre artificio y naturalidad. El modo de superarla depende de la clase de obra, de su importancia y del criterio que imponga el ingeniero. No son únicamente condiciones técnicas y económicas las que mandan; influye también quien proyecta la obra y la lleva a la realidad. No es preciso resaltar el interés geográfico del tema. La obra se incrusta en el medio geográfico, modificándolo en los dos aspectos, físico y humano, alterando además su evolución en ambas direcciones. Al incorporarse al paisaje adquiere expresión geográfica permanente.

### *La carretera*

Las vías de comunicación, además de cumplir la función primordial de servir de sistema circulatorio para las relaciones materiales entre los hombres, les rinden el servicio de ponerles en relación directa con el mundo físico. Les descubren panoramas que para la mayoría son el único repertorio de paisajes, pues pocos hombres salen de la red de caminos, e incluso a lo largo de ellos circulan conducidos en los elementos de transporte.

Esta consideración muestra la importancia que debe darse entre la carretera y el paisaje. Y esto en dos momentos independientes: primero, en la elección del paisaje que ha de descubrir la carretera, y segundo, en el cuidado de la obra misma para no perturbar dicho paisaje.

Las dos funciones de la carretera que hemos apuntado nos plantean ya el conflicto entre naturalidad y artificio. Este último destaca en la función material que exige máxima eficacia, mientras que el otro servicio es una demanda de naturalidad. Se enfrentan, por un lado, las condiciones de mínima energía de transporte que exigen reducir la distancia virtual cortando ondulaciones y nivelando lomas y valles mediante trincheras y terraplenes. Del otro lado tenemos la carretera amoldada al terreno, siguiendo a grandes líneas el ritmo de su topografía con el mínimo movimiento de tierras y la menor alteración en las condiciones naturales.

El trazado siguiendo el ritmo del terreno hace preferible la planta movida con alternancia de curvas frente a las largas alineaciones rectas, tan cansadas y peligrosas en la conducción a velocidad. Entre los puntos de paso obligados deben considerarse los que descubren paisajes de gran belleza, ampliando el criterio de la estricta economía topográfica a una geomorfología más amplia. Hay que aprovechar el viaje para proporcionar motivos de recreo al viajero y es axiomático que en los caminos hacia lugares atractivos debe ser atractivo el camino mismo.

Se compenetran sin conflicto lo que es imposición del hombre y lo que es interpretación de la Naturaleza. La plataforma tiene una superficie de pavimento liso, resistente, sin polvo, con la regularidad perfecta en la alternancia de alineaciones rectas y curvas, con márgenes definidas y ordenadas en fajas de tráfico, logrando, al máximo, su objetivo de facilitar la actividad circulatoria. Esta misión, que corresponde al ingeniero del camino, se armoniza con la otra menos específica y técnica de interpretar la Naturaleza, resultando del equilibrio de ambas la perfección total de la obra con un máximo de eficacia, belleza y seguridad.

### *El puente*

El puente es el artificio más importante que se introduce con el camino, por lo cual insistiremos sobre él. Situado en el cruce de dos circulaciones, articula un problema de geografía humana con uno de geografía

física para permitir la coexistencia de las redes vial y fluvial. En el compromiso que se establece queda latente el conflicto naturalidad-artificio.

El contraste entre el carácter dinámico del río y la permanencia del puente resistiendo el paso de los vehículos y las máximas avenidas ha de manifestarse en la obra. Frente a la variabilidad e irregularidad del río, el puente ha de poseer la máxima simplicidad y la más clara ordenación. El criterio categórico de economía llevado a lo formal impone la introducción del mínimo de ideas nuevas en el paisaje. La obra por encima del nivel del agua ha de responder sin artificio a las condiciones resistentes de su función sustentadora ajustándose a leyes mecánicas estructurales. La obra sumergida ha de producir el mínimo obstáculo al movimiento del agua, lo cual, regulado también por leyes naturales, conduce a las formas hidrodinámicas que analizamos al tratar de las obras hidráulicas.

En las autopistas alemanas, la realización de las obras de fábrica se llevó con un cuidado ejemplar y se logró volver a enlazar con la tradición europea en el arte de construir puentes, dominado ya desde los romanos e interrumpida desde la aparición del hierro como material constructivo. Estos puentes tan sobrios y bien trazados armonizan con el paisaje, enlazándose a él por transición estudiada con todo detalle sobre el terreno; ostentan formas nuevas y formas tradicionales, y los materiales tienen riqueza expresiva sin falsía.

Frente a la naturalidad del puente de hormigón tenemos el artificio del puente metálico. Su materia prima no tiene relación alguna con el paisaje; antes por el contrario, existe incompatibilidad entre el agua y el hierro. Este debe al fuego sus propiedades ventajosas, lo ha cambiado de óxido a metal, y el río tendería a cerrar el ciclo, haciéndole volver a su primitivo estado. Pero la capacidad del hierro para sustentar cargas muy superiores a su propio peso le permite esquivar la proximidad del medio agresivo, aumentando la distancia entre apoyos hasta salirse del cauce y despegándose del plano de aguas, aunque no sea más que elevando su estructura por encima de la plataforma.

El puente metálico, al desplegar sus cualidades, tiende a imponerse al medio físico. Esta característica de violencia corresponde a la falta de homogeneidad entre ambos. Nada metálico aparece en el paisaje natural, y al imaginar el puente encajado en él causa malestar pensar en su extraordinaria conductibilidad térmica y su poca resistencia a la meteorización.

No sólo el puente colgado, sino en general los puentes metálicos, se depuran a medida que aumentan las dimensiones absolutas. La trama de la retícula se simplifica, desaparecen elementos secundarios y los principales adquieren mayor suficiencia al aumentar de rigidez; desaparece la confusión inherente al cruce de elementos en todas direcciones, y el puente se hace más diáfano, menos estorbo en el paisaje.

### *La obra hidráulica*

EN la obra hidráulica la exigencia de naturalidad es mucho más fuerte que en cualquier otra obra de ingeniería. El artificio que el hombre introduce ha de ponerse a prueba dentro de la organización más potente del mundo físico, en el sistema circulatorio fluvial, donde se actualiza la energía geomorfológica más importante.

EN la obra hidráulica hay que prestar a la circulación un servicio definitivamente ajustado desde el principio. El acierto de la obra no se contrasta en la graduación mejor-peor, sino en el dilema permanencia o ruina. Circulación y servicio no son independientes físicamente, sino que están en contacto directo de continente y contenido. Iniciamos la desviación de un proceso energético, con arreglo a un programa que planteamos nosotros mismos, desencadenando una sucesión de fenómenos naturales, que, inexorablemente, llevarán a una situación final. Es preciso conocer muy bien las leyes que regulan dichos fenómenos para estar seguros de desembocar en un régimen estable a la par que beneficioso. El resultado se nos escapa y es difícil introducir mejoras parciales de reajuste, pues no está en nuestra mano la circulación hidráulica.

ESTA tensión de fuerzas en contraste alcanza al propio ingeniero al compenetrarse con los problemas del río y de la obra, sintiendo aquél como proceso externo ineludible y ésta como decisión que ha de llevar implícita la posibilidad de su permanencia, y que ha de imponerse introduciendo modificación, pero no desajuste. En unos casos, esto se traduce en preocupación por causar la mínima inquietud en el curso del agua, para conseguir circulación sin espuma ni remolinos; y en otros, por el contrario, en aspiración de llegar a la destrucción de energía, revolviendo la masa líquida contra sí misma. El ingeniero ha de penetrar en lo más profundo del mecanismo del agua para prever la manera cómo va a comportarse y proyectar las estructuras fijas, anquilosando el movimiento ideal en moldes para su fluir, de modo que cuando el agua llegue encuentre el cauce realizado con la forma externa de su propio perfil.

En esta casi adivinación de formas naturales radica la belleza de las formas hidrodinámicas, que, fronteras entre sólido y líquido, establecen una transición de lo estático a lo dinámico por congelación de movimiento y delimitación de reposo en tensión. Entre la obra que permanece y el agua que fluye no debe haber violencia; si la forma es adecuada, las líneas del contorno han de ser, previamente, a la par trayectorias.

La vertiente naturalidad cobra mayor relieve teniendo en cuenta que nos introducimos en un proceso evolutivo. El río está labrando su cauce, correspondiendo a cauce y circulación el equilibrio dinámico que alteramos al introducir nuestra obra. Precisamente el margen de variabilidad de los caudales, que da gran elasticidad al ajuste de este equilibrio, permite albergar dentro de él un nuevo programa e incluso mejorarlo con nuestra intervención.

A MEDIDA que la importancia de las obras va aumentando y que la penetración en el medio físico es más profunda, el ingeniero ha de adoptar los modos de trabajo de la Naturaleza. Puede incluso utilizar el mismo río como colaborador en la obra, elevando las márgenes por atarquinamiento del caudal sólido que arrastra o consiguiendo una variación de cauce iniciado mediante la ejecución de un ligero canal que la energía erosiva de los caudales desviados irá agrandando sucesivamente.

EN esta obra tan reciente, la presa aparece como dique infranqueable que rompe la continuidad del río, siendo preciso recurrir a conductos subterráneos para asegurar la fluencia del curso de las aguas. Pero en muy pocos años ha evolucionado profundamente el enfoque del problema. Desde la presa hostil al río, que no se deba rebasar por él, se ha pasado a la presa aliviadero, en la que las avenidas desaguan por la coronación, discurriendo a lo largo del paramento inclinado para destruir la energía excedente al pie de la presa misma. La presa que antes terminaba con el remate rígido de un muro de espesor constante, moldea ahora su paramento con formas hidrodinámicas, de tal modo que las dos funciones primordiales: resistente e hidráulica, prestan volumen y superficie a su gran macizo. Todas las grandes presas actuales construidas o en construcción se han proyectado con este nuevo criterio, que también se ha aplicado para la colosal presa del río Amarillo, de China, en estudio por ingenieros americanos.

Este cambio de orientación ha hecho desaparecer uno de los elementos orgánicos del artificio para crear un embalse: el aliviadero independiente, verdadero talón de Aquiles de conjunto, que se ha incorporado al elemento principal. Esto supone un gran avance hacia la naturalidad suprimiendo los elementos más vulnerables, que también son los más artificiosos: pues el aliviadero o desvía el agua de su cauce, abriendo otros nuevos, en los que se inicia un ciclo erosivo correspondiente al desnivel creado, o la fuerza a pasar por conductos subterráneos que introducen una dificultad de tipo nuevo en la morfología fluvial. Con la presa aliviadero la perturbación en el mecanismo natural de las aguas es mínima, el escalón resulta intermedio entre rápido y cascada, y se consigue un objetivo teórico importante: no introducir ideas nuevas en el paisaje.

### *El Puerto*

EN el puerto volvemos a encontrarnos enfrente de la Naturaleza, la cual se manifiesta con caracteres todavía más violentos que en la obra hidráulica. Aquí la actitud de lucha toma su máxima concreción, pues la energía que se pone en juego es incesante y queda a una escala muy por encima de lo humano. Es un continuo batallar, e incluso la obra, que es lenta de ejecución, ha de ir haciéndose dentro de estas condiciones. Artificio dentro del medio más poderoso, no tiene posibilidad de incorporarse, como la obra hidráulica, en un régimen de funcionamiento definitivo. El mar asimila destruyendo y el puerto sólo logra una tregua pasajera, en un pequeño espacio defendido de agitación superficial.

PODEMOS resumir en tres etapas la evolución histórica del puerto. En la primera el problema se plantea de modo muy simple. Vitrubio y León Bautista Alberti coinciden al afirmar que lo fundamental en un puerto es que lo dé todo la Naturaleza. En su expresión geográfica el puerto se limita a obras internas con dársenas geométricas que alteran muy poco el perfil general de la costa. El problema defensivo se enfocaba hacia los navíos enemigos y no contra el mar, hasta tal punto que muchos puertos se cerraban con cadenas.

Viene una segunda etapa, en la que se empieza a enmendar lo que da la Naturaleza, *supléer par l'art à ce que la nature aura refusée*. Además, hay que seguir defendiendo el puerto contra los posibles enemigos, y las obras de una y de otra clase tienen importancia similar. Puertos geométricos, mezcla de fortificación y de obra de ingeniería, con murallas y diques que a veces se despegan de la costa para buscar apoyo en islotes próximos. Se modifica la Naturaleza “para sujetarla a nuestras necesidades, pero sin hacerle demasiado violencia”, pues “los esfuerzos humanos no pueden llegar a desviar la acción de las leyes naturales”. Apunta el artificio en la metamorfosis de los salientes locales en diques.

En la etapa actual, como ya hemos indicado, la lucha es incesante, la hostilidad del mar es siempre activa frente a la obra que le imponemos. Imposición que viene expresada en la forma lineal de los diques, lanzados como brazos protectores para detener las acometidas del mar. Y no sólo ha de resistir la obra portuaria la actividad superficial del mar, destructora del relieve; sino que, además, ha de estar alerta a su actividad formadora, pues la quietud del puerto favorece la sedimentación, que muchas veces determina una rápida merma de los calados necesarios para el tráfico. Pero, en general, el problema se presenta como de ataque y defensa, la obra portuaria no esquiva la agresión del medio desviando la acometida, como ocurre en las obras hidráulicas, sino que los diques, suplantando al litoral, han de anular la energía del mar.

VISTO desde el aire, muestra el puerto la sequedad rectilínea de su artificio, en contraste con los contornos suaves y modulados de la costa.

Pero los diques son miembros demasiado alargados y frágiles. Abandonado el puerto al libre juego de los elementos, no se reintegraría en un equilibrio definitivo y el mar lo absorbería. Aparecen las extremidades de los diques como los jalones más osados que el hombre clava en el seno del mundo físico.

El contacto de siglos entre el hombre y el mar, durante la evolución de un puerto, tiene como correlato la dedicación tan completa del ingeniero a esta obra, que exige emplear la vida entera en compenetrarse con sus problemas. Es uno de los casos donde la vocación profesional queda mejor definida. Por consiguiente, la relación hombre-obra es más íntima y las improvisaciones más aventuradas. El ingeniero tiene que hacerse a la conducta del mar por un conocimiento directo y, además, con pleno sentimiento de su misión. Ha de pulsar la reacción del medio a los obstáculos que él mismo va introduciendo. Cada puerto es un caso singular por sus condiciones geográficas particulares; pero, además, como la energía

que se pone en juego es tan cuantiosa, pequeñas diferencias iniciales pueden desviar los resultados en un margen muy amplio.

### *El Aeropuerto*

EL AEROPUERTO, con una misión paralela a la del puerto marítimo y con muchos puntos de analogía en cuanto a los tráficos, resulta, sin embargo, su antítesis en varios aspectos. También se trata, en último término, de conseguir horizontalidad para lugar de reposo y de frenado o arrancada de los aviones. Pero esta horizontalidad se obtiene de una vez para siempre y ya no existe lucha contra los elementos. Se aplana el medio sólido y, aunque esto exige mecanismos potentes para el movimiento y consolidación de las tierras, una vez la obra terminada, permanece. Claro está que es preciso asegurar la naturalidad del desagüe, condición ineludible para toda construcción sobre la corteza terrestre, y atender normalmente a la conservación de la superficie de obra en uso.

COMO en el fenómeno natural de transporte y sedimentación, es la velocidad de circulación la que decide la fijación de poblamiento. Así la carretera con velocidad moderada ejerce una atracción a todo lo largo de su trazado, que cristaliza en edificaciones cuando otro estímulo refuerza esta potencialidad de fijación o cuando existe una causa de aminoración de velocidad, como en los cruces de caminos, llegada a poblaciones, paso de ríos, etc. En cambio para el ferrocarril el poder de fijación es negativo, la plataforma de las vías constituye un obstáculo permanente, concentrándose la atracción en los puntos de parada de las estaciones y en proporción tal que éstas deben mirarse siempre como embriones de futuros núcleos urbanos. Y no se crea que esta diferencia de significación urbanística entre la carretera y el ferrocarril deriva de la naturaleza del servicio; procede únicamente de la velocidad de circulación, y así, cuando ésta aumenta en la carretera, como ocurre en las autopistas, el carácter de obstáculo se materializa en el vallado que aísla la explanación.

EL AVIÓN proporciona un punto de vista muy eficaz para juzgar del trazado de una obra. Desde él se aprecia plenamente la expresión geográfica de la misma con todas sus cualidades de adaptación al medio, lógica de las soluciones, belleza geométrica de su trazado, poniendo de relieve la importancia de su regularidad en planta, que casi era privilegio de las construcciones arquitectónicas. Esta impresión que causa en el espectador la visión de conjunto de las obras tiene que influir necesariamente sobre el ingeniero que proyecta, y, unida a la que pueda proporcionarle la contemplación total del escenario antes de la aparición de su futura obra, excitará su imaginación hacia un perfeccionamiento en detalles y conjunto, que redundará en pro de la naturalidad de la misma. La belleza y grandiosidad del paisaje desplegado ante los ojos tiene que ejercer

una acción mimética sobre el proyecto de la obra. Como en el modelo reducido, y ahora con más fuerza al dar realidad viva a la actitud de dominio consubstancial a la ingeniería, nos acercamos al método apropiado para dar categoría a nuestra relación con el mundo físico.

### *Agronomía*

AGRICULTURA y minería son las dos ramas de la actividad ingenieril más antiguas, y a la par en contacto más directo con la Naturaleza en sus dos reinos inferiores: vegetal y mineral. Las condiciones específicas de estos dos reinos matizan de modo tal las actividades correspondientes, que ellas mismas presentan el contraste: naturalidad-artificio.

En el trato con el mineral llega al límite extremo el sentido brutal de la explotación, degenerando hasta el último grado de la economía destructiva.

La escombrera de la mina, el vaciado de la cantera o el lavadero de mineral son la expresión palmaria de la falta de respeto a la Naturaleza. En cambio, la explotación agrícola organizada patentiza la colaboración del hombre con el mundo físico hacia un fin común: el logro más perfecto de frutos en calidad y cantidad.

### *Selvicultura*

AL realizar repoblación no sólo restauramos naturalidad, sino que, además, introducimos arteificio que compensa la pérdida de naturaleza de los bosques mismos. Por otro lado, se manifiesta también el conflicto naturalidad-artificio en las dos disciplinas fundamentales del ingeniero forestal: Selvicultura y Dasonomía. Definen dos criterios en la relación con el bosque: el que pudiéramos llamar del bosque: el que pudiéramos llamar del bosque en sí, y el de la ordenación del mismo en vista de su mejor utilización. Manda la segunda donde los bosques existen, y el ingeniero se limita a regular su explotación; pero la primera se impone en las zonas donde hay que empezar por crear el bosque, o, por lo menos, regenerarlo intensamente.

AGRONOMÍA y selvicultura tienen sus zonas geográficas definidas por razones naturales, pero algunas veces limitan en zonas de conflicto. En la transición de llanura a montaña pueden estar en pugna masas arbóreas y cultivos. El arado introduce ordenación en los terrenos abandonados a la vegetación espontánea. Pero esta ordenación impuesta por el hombre puede ser origen de desorden y ruina al introducir alteración en el mecanismo natural del desagüe y desencadenar un proceso de erosión como el que acabamos de describir. De este modo una causa inicial mínima puede producir efectos fuera de lo previsible en regiones geográficas importantes (caso clásico los *bad-lands* artificiales de América del Norte o de Australia).

Tropezamos aquí con el fenómeno de la *economía destructiva*. El interés ocasional y sin referencia a un conjunto superior, que es lo que presta armonía y da sentido positivo a la imposición de lo económico, con-

duce a esa manifestación brutal expresada en la combinación paradójica de ambos vocablos. En una economía integral se impondría como norma el aprovechamiento máximo, y la limitación de esta exigencia en el medio físico conduciría, por equilibrio de tendencias contrapuestas, a una armonía global. Se destacaría la otra cara de lo económico, el rendimiento máximo, es decir, la obligación de evitar todo despilfarro, tanto en la riqueza actual como en la potencial, y de este modo, exacerbando la exigencia de lucro en todas direcciones, aparecerían plenamente las condiciones naturales. Puesta en tensión la corteza terrestre, cualquier acción local daría la alerta sobre las consecuencias para todo el sistema.

LA intervención del ingeniero, con su ángulo de visión más amplio en sentido material y su punto de vista más elevado en sentido metafórico, se caracteriza o, por lo menos, debiera caracterizarse por una economía siempre constructiva. La incorporación al suelo firme de tierras en situación indecisa, como marismas, terrenos encharcados, zonas inundables, es una de sus labores más características en este aspecto. También influyen en la misma dirección la existencia de organismos económicos más amplios que, además de contar con recursos materiales más importantes, disponen de medios coercitivos más potentes. Estos organismos forman el ambiente apropiado con lo cual se obtiene una coordinación de esfuerzos de todos los interesados, incluso de los que en una actuación anárquica podrían poner en peligro intereses colectivos aun sin intención de lucro desmedido.

Sin embargo, algunas obras de ingeniería suponen economía destructiva en pequeños sectores, si bien justificables ante las grandes ventajas obtenidas, y sobre todo ante la ordenación que introducen en sectores mucho más amplios. Es caso típico la inundación que produce un gran embalse: desaparece una superficie apreciable de terreno con sus árboles, su vegetación, sus carreteras, sus obras de arte y a veces pueblos enteros. El paisaje más inhumano que puede darse es el del vaso de un gran embalse en estiaje acusado, después de varios años de funcionamiento. Pero, aun sin llegar a este caso, donde aparece un agotamiento total, existe en todo embalse una faja de terreno que las alternativas periódicas del nivel de agua lo dejan al aire o sumergido, y donde toda vegetación ha muerto, presentando el paisaje una tremenda herida, delimitada por el plano horizontal del máximo nivel alcanzado por las aguas.

### *Minería*

EN el trato con el mineral todo es imposición del hombre, y únicamente se le atiende a través de razones económicas. La naturaleza del yacimiento da lugar a modalidades especiales de explotación para realizarla con el mínimo coste, o para obtener el máximo beneficio del mineral con la vista puesta en el arranque total del mismo. Pero la secuencia de operaciones y el programa de laboreo son del arbitrio humano exclusivamente. No cuenta el ritmo de las estaciones, ni siquiera el de los días y las noches.

La imposición del hombre es máxima, y el gran esfuerzo que se necesita para dominar los elementos en la mina se refleja en la contribución aportada por el ingeniero mecánico. El mecanismo más complicado que idearon los romanos fue la bomba de doble efecto utilizada para desagüe de minas. Y la máquina de vapor, la primera conquista decisiva en el proceso de aprovechamiento intensivo de la energía, surge con Newcomen y Watt para resolver idéntico problema.

EN las explotaciones mineras profundas la expresión geográfica es puramente negativa. Aparecen las grandes escombreras que sepultan extensiones considerables de tierra vegetal o merman los cauces de los ríos formando verdaderas montañas artificiales, estrangulando su circulación y suministrando caudal sólido en avenidas para aumentar su poder destructor. Este conflicto con las circunstancias naturales resalta especialmente en las minas de carbón. Para poder beneficiar la riqueza de este combustible del mundo mineral es preciso sacrificar en apeos y entibaciones una cantidad considerable de madera, que también es combustible y, además, elemento vivo del reino vegetal. Cuando las minas están situadas en laderas de la cuenca alta de los ríos, tienen el agua de éstos, ennegreciendo los terrenos del cauce y haciendo desaparecer la fauna fluvial. La mina va absorbiendo el bosque, sepulta una parte de la superficie vegetal, destruye la vida de especies animales y altera el paisaje en todo el recorrido de las aguas del río.

### *La Industria*

Nos queda como última rama de la actividad ingenieril: la industria. Aparentemente se caracteriza por un máximo de artificio, pero es preciso tener en cuenta que es no sólo la más afín al hombre, sino consubstancial a él. Todo el proceso de humanización ha venido condicionado por la actualización de su potencia industrial, y una de las concepciones clásicas del hombre es la del *homo faber*, o animal industrial.

EL desarrollo industrial es uno de los factores más importantes en la Geografía humana, y, a la inversa, la Geografía física es decisiva para la evolución industrial. Uno de los motivos determinantes de fijación de poblaciones ha sido el establecimiento de trabajadores en torno a una explotación importante. Ha influido poderosamente en la evolución de las ciudades, especialmente a partir de la revolución maquinista de finales del siglo XVIII, dando lugar a un rápido desarrollo de algunas ya establecidas, creando otras nuevas y cambiando la estructura de las antiguas. Pero no es nuestro objeto buscar la expresión geográfica de las obras de ingeniería donde se realiza la actividad industrial misma, es decir, de las fábricas.

### Teoría del puente. 1957 <sup>(4)</sup>

EN la actualidad, el problema del puente se plantea en el campo de la Ingeniería. No ha sido siempre así.

Todos nuestros grandes arquitectos: Herrera, Ribera, Ventura Rodríguez, Villanueva, han construido puentes que señalan la categoría de sus autores con la misma eficacia que otras obras monumentales.

APARECE así el hierro como elemento arquitectónico en el tirante que solidariza sillares agrupados en mala conformación. El hierro ata, remedia defectos, y este carácter ortopédico lo mantiene durante siglos. Es preciso esperar hasta los puentes metálicos para que adquiera sentido arquitectónico positivo. La intensidad de las cualidades resistentes de este material reduce su arquitectura a esquema sin corporeidad, se queda en esqueleto y hay que llegar a las grandes luces de los puentes actuales para que sea soportable su escualidez. En sus formas arquitectónicas se rompe la armonía peculiar de la piedra, que contrarresta directamente sus dos cualidades: peso y resistencia. Un material en el que la primera cualidad es insignificante con respecto a la segunda no define de un modo natural formas de equilibrio. Por el contrario, lo típico de la arquitectura del hierro es la forzosidad y el artificio. Allí donde no se consigue una estabilidad directa, basta arristrar o atirantar, y el problema queda resuelto en segunda instancia.

EL material más reciente y con caracteres verdaderamente nuevos es el hormigón armado. Se ha conseguido reunir en él las cualidades ventajosas desde el punto de vista constructivo de la piedra y del hierro. Dar fibra a la piedra y masa al hierro, según definición de Echegaray. En esta solución de síntesis se logran las formas tradicionales de un modo más simple y se obtienen además otras nuevas. Pero el hormigón armado lleva oculto el artificio del tirante y esto permite realizar no sólo las formas adecuadas, sino todas las falsedades que convengan y especialmente los alardes. La docilidad del molde, unida al extraordinario mimetismo estructural, dan lugar a que en nuestra relación con este material se haya perdido la norma de lo que debe hacerse. Es una de las tareas más urgentes la revisión de las estructuras de hormigón armado para estudiar el modo de utilizarlas sin falsía, o lo que es lo mismo, poner en claro sus posibilidades expresivas para traducir valores vivos en la Arquitectura actual.

AL considerar la relación entre los materiales y la Arquitectura, es preciso no desorbitar la cuestión. Nuevos materiales no dan lugar a nueva Arquitectura. Esta es en definitiva la realización de exigencias expresivas o, si se quiere, estéticas, dentro de un sistema de posibilidades técnicas, y la incorporación de nuevos materiales o nuevos procedimientos constructivos lo único que produce es la ampliación de dicho sistema de posibilidades.

OTRA de las direcciones en que el puente actual rompió la adecuación lograda por el puente de piedra es en su relación con el medio. La falta de localización precisa del hierro y del cemento, y las extraordinarias facilidades del transporte han quebrantado la acomodación del puente en la economía natural del paisaje. Forzando las cosas, todavía podemos rastrear esta armonía viendo en la zona alta del cauce el arco estriba-

do en laderas de roca que le proporcionan sus sillares. En la zona media el tramo adintelado enlazando las terrazas inferiores del río, en las que se encuentran las gravas y arenas para el hormigón. Y en el tramo final otra vez el arco, repetido para contrarrestar empujes y con estribación artificial sobre la llanura que le da arcilla para fabricar ladrillos.

La condición determinante del puente es resistir, por un lado el paso de los vehículos y por otro las avenidas del río. Resistir quiere decir ser en el momento inmediato lo que ya era en el anterior, o sea persistir, existir siempre. En toda estructura resistente hay una pretensión de eternidad y ponemos en ella algo de nuestra voluntad de trascender más allá del presente.

En nuestros primeros años hemos sentido el vértigo de los ríos, fugitivos de sus cauces, y precisamente al contemplarlos desde lo alto de los puentes. Sentimos por segunda vez la presencia del río dentro de lo profesional y entonces la sensación de vértigo era más profunda, provenía de las cosas que huían dejándonos en soledad recalcada por el martilleo de la sangre en las sienas. En esta ocasión el río nos salva al relacionarnos con él para realizar el puente. Conseguimos una doble superación, pasa el río, pero queda la referencia de nuestra obra; nos afirmamos en su permanencia y estabilidad, y al mismo tiempo tomamos arraigo entre las cosas. Desde nuestro puente podemos contemplar, sin vértigo, el continuo fluir del agua, en imagen de nuestra propia vida.

Suprema aspiración del ingeniero que construye puentes es ofrecer siempre alguno nuevo a las primeras avenidas del otoño. Nos unimos al curso de las estaciones anclando lo biológico en lo cósmico. Incorporamos los ríos a nuestra fisiología, conquistando para nuestra armonía interior los ritmos ininterrumpidos del agua que pasa por debajo de todos nuestros puentes. El ingeniero que los realiza obtiene la gran recompensa de poder sentir los ríos como sus propias venas.

LLEGADOS a este punto resulta obligado hacer una incursión por el campo de la Estética. Inmediatamente de entrar tropezamos con el primer tópico, la belleza de una obra de ingeniería está en su utilidad, fórmula que rechazamos, sin más que recordar que existen puentes horribles muy útiles.

Es preciso ahondar en la significación de lo económico como categoría ingenieril, y encontramos que la aspiración de economizar que por un lado apunta hacia una meta de lucro, es decir, de lo ventajoso materialmente, en lo más profundo consiste en causar la mínima alteración de las condiciones naturales como compromiso en nuestra relación con las cosas. Necesitamos de ellas y tenemos que utilizarlas, pero el árbol arrancado del bosque para convertirlo en madera nos impone la obligación de utilizar ésta al máximo.

La mínima alteración de las condiciones naturales nos da, en primer término, una norma restrictiva: el puente no debe perturbar la armonía natural del lugar, lo cual obliga a no perder de vista el paisaje dentro

del cual el puente ha de proyectarse, imaginativamente primero y materialmente en definitiva. Ya hemos visto que el paisaje en su significación más concreta es deparador de materias primas y además es geomorfología, es decir, conjunto de condiciones previas para el trazado y gálibo.

Al imaginar el puente estamos en relación amorosa con el mundo físico, reforzada ahora por la tendencia a economizar en todas direcciones. Que se arranque lo menos posible de mineral en la mina, que la menor cantidad de piedra y arena se desvíen de su proceso evolutivo, que se consuma el mínimo de combustible en los transportes y se introduzcan las menos ideas nuevas en el paisaje.

El esfuerzo mental desarrollado para resolver el problema técnico se aquieta en el equilibrio conseguido en la obra, es decir, en lo estático. Pero si el ingeniero supera al técnico y actúa como hombre, la armonía que alumbra en su contacto con el río puede quedar en la estética del puente. Se pasa gradualmente de lo estático a lo estético a través de los conceptos de equilibrio, quietud, serenidad y armonía. Dando a los términos su debido significado, quizá valga tanto afirmar que *todo lo estático es estético*, como lo inverso; y esto fue verdad para los puentes de piedra. Después los ingenieros en la postura de técnicos puros quisieron exaltar la primacía de lo estático, negando validez a la segunda mitad de la fórmula, mientras que los arquitectos postularon la interpretación opuesta. Frente a *todo lo estático es estético*, puede repetirse que hay puentes horribles que no se hunden, y en cambio, no tiene una refutación tan clara el que *todo lo estético es estático*, pues sería preciso ponerse de acuerdo sobre el significado de lo estético.

Estética de las artes del ingeniero. 1976<sup>(5)</sup>

LA llamada “Revolución Industrial”, a caballo entre los siglos XVIII y XIX, que fue para la Ingeniería el paso decisivo hacia la etapa actual, nos legó un desprecio lamentable por la estética de nuestras obras, que se concretó en la tesis de incompatibilidad entre utilidad y belleza. Esta tesis ha quedado como un axioma de tal fuerza, que incluso hoy, a más de siglo y medio de distancia, no ha podido borrarse de la mentalidad del hombre corriente, y lo que es aún más grave, de la de los propios ingenieros.

ENFRASCADO el ingeniero estructural en la resolución de estos problemas, ineludibles para llegar al dominio de las nuevas estructuras, se obsesionó con su cálculo, siempre farragoso, que le absorbía una parte muy importante del tiempo disponible para cada proyecto, en detrimento del correspondiente a las otras fases del mismo, más importantes y creativas, como son el diseño de las formas, el perfeccionamiento de los detalles y los modos de construir. Esto producía una tristeza inevitable que se sumó con aquella otra de fondo social, a la que ya hemos aludido, por lo que no pudo reaccionar contra el lamentable axioma de incompatibilidad entre belleza y utilidad; o todo lo más argumentó, con verdadera pereza mental, que la belleza de

una obra de ingeniería reside en su utilidad, lo cual, aunque parezca una conclusión positiva invalidando el axioma, supone realmente el total desentenderse con respecto a las artes bellas.

Indiferencia o incompatibilidad conducen a lo mismo: falta de relación entre belleza y utilidad, y así, cuando el punto de vista en la cuestión es el del ingeniero, aparece el desprecio total de las cualidades estéticas de su obra, y si es el de los conspicuos guardadores de las artes decimonónicas, la exclusión de la ingeniería del recinto de las bellas artes. Así, en un documento académico de principio de nuestro siglo, se puede leer, a propósito del acueducto romano de Sevilla:

*“No se trata, es cierto, de una obra de arte; que los romanos el arte resérvanlo, con acuerdo, para donde había de hablar al espíritu y a los ojos: para los templos, anfiteatros, termas y demás construcciones urbanas; trátase de una obra de ingeniería como las murallas, las cloacas y los pantanos, puentes y calzadas, en las que lo principal era la solidez, y el fin, utilitario.”*

TENEMOS entonces la producción de bienes, es decir, de cosas buenas, pero también pueden producirse cosas malas (de mala condición), que nunca serían inútiles, sino nocivas. Y lo que es peor, utilizar cosas buenas en sí para un mal fin, como, por ejemplo, dedicar excelentes aceros para fabricar cañones, o la energía atómica para producir bombas. Es el caso de utilizar la técnica desviándola del camino recto de su finalidad benefactora, para tomar el siniestro de la destrucción y la muerte. No es el tema de la ocasión actual, pero no la puedo dejar pasar sin expresar mi condenación contra la crimosidad de la guerra.”

La misión del ingeniero está en sacar la máxima utilidad posible de las cosas, y esta apetencia de utilidad es la que enderezó al homínido hacia *homo faber* primero, y después, hacia *homo sapiens*. Su voluntad está empeñada afanosamente en el dominio ilimitado del mundo físico, para ensanchar progresivamente la base material en que se apoya la especie humana. Esta voluntad de dominio, precisamente por su carácter ilimitado, presionando en todas direcciones conduce a lo económico. La utilidad buscada la consigue el ingeniero mediante la alteración de procesos cósmicos, con lo cual perturba el equilibrio existente, pero instaura uno nuevo, con ganancia en la sustitución del primero, natural, por el segundo, artificial, que él dispone y que en definitiva ha de reajustarse también en lo natural si queremos que se logre. Pero, además, como rige lo económico, su manera de obrar ha de ser tal que, consiguiendo la utilidad buscada, la alteración sea mínima; o a la inversa, con una determinada alteración lograr la utilidad máxima. El árbol que arrancamos del bosque para convertirlo en madera, en algo utilizable, nos impone la obligación de utilizar ésta al máximo.

Cobra así lo económico un carácter amoroso: causar la mínima alteración en la Naturaleza; resultado al que llegamos también partiendo de la actitud opuesta, aunque utópica, de utilización integral y despiadada, pues como se trata de una economía ecuménica, todo despilfarro en cualquier sector repercutiría inmediatamente en el conjunto, estableciéndose por interacción automática un reajuste de limitación.

Las cosas bellas son difíciles

*“ESTE sentido de lo estricto —supresión de lo accesorio en la obra definitiva y a lo largo del proceso constructivo— elimina radicalmente lo decorativo, partiendo de lo funcional llegamos directamente a lo estructural.”*

*“LA materia organiza sus formas de un modo natural y económico, por consiguiente: plenas de belleza, tensas de utilidad.”* <sup>(6)</sup>

Si este paisaje tiene río y vamos a imponerle un puente, los datos que necesitamos son: la geometría del cauce, el régimen hidráulico desde estiajes hasta máximas avenidas, la geotecnia del terreno donde vamos a cimentar sus pilas y el proceso geomorfológico que acontece en aquella zona del río. Estrictamente necesitamos estos datos en la zona de encuentro río-camino, pero el estudio de la geomorfología nos lanza hacia el pasado del río para averiguar cómo ha sido su evolución natural, cómo ha ido conformando su propio lecho.

Además, el cálculo de los caudales es una incitación a remontar el curso del río, a descubrir que otros puentes romanos, medievales, renacentistas, etc. quedan alineados en la misma corriente y que otros hombres nos han precedido en análoga tarea. Así, del conocimiento del río en la zona del cruce y en la actualidad, que es lo que satisfaría al simple técnico, podemos pasar a la meta más ambiciosa del ingeniero, que es la de poseer la intuición completa del río, intimando con él para llegar por este camino al amor que nos humaniza. Decía Leonardo: *“Il grande amore nasce de la grande cognitione de la chosa che si ama”*, y este grande amor legitima el fruto material de nuestra relación con las cosas.”

POR otro lado, hay que suponer que el ingeniero tiene vocación de tal, o sea, que las cosas y procesos del mundo físico despiertan resonancias en su interior, y ponen en conmoción todas sus facultades: inteligencia sentiente, voluntad tendente y sentimiento afectante, que es lo que precisa la realización de un acto poético.

EN esta correlación de equilibrios en tensión, si el éxito nos acompaña, conseguimos traspasar nuestra tensión psicobiológica a nuestra obra, que se incorpora al dinamismo cósmico, es decir, depositamos en la materia algo de nuestra intimidad, realizando la antinomia de espiritualizar la materia, materializando nuestro espíritu. Todo creador descansa en su obra terminada, desde el Supremo Hacedor hasta cualquier simple mortal que ha conseguido llevar a feliz término su obra.

RESUMIENDO lo obtenido hasta ahora en cuanto a la estética de las artes del ingeniero, lo más importante es

la derrocaación del axioma de incompatibilidad entre utilidad y belleza, pues, como hemos visto, la obra del ingeniero desemboca necesariamente en el ámbito estético, donde ha de incorporarse a las cosas bellas, o a las cosas feas, sin poder quedarse neutra ante el dilema. Además, a esto llega por dos líneas diferentes igualmente exigitivas: la de la belleza natural, al acoplarse en la Naturaleza por ajustamientos sucesivos, y la de la belleza artística como término de un acto poético auténtico igual que en cualquiera de las obras de las artes actuales.

NUESTRO aparato sensorial está organizado en una estructura como las del mundo físico. Incluso nuestra psique ocupa, por circunscripción, un espacio físico, el de nuestro propio cuerpo. Estamos sometidos a la gravitación universal y cualquier acto por muy espiritual que sea requiere un gasto de energía. Sentimos la presión de nuestra sangre en las venas, y el ritmo de nuestra respiración, lo que nos conjuga con el ritmo de los días y las noches, el de las estaciones, el fluir de los ríos y la alternancia de las mareas. Al construir puentes podemos llegar a sentir los ríos como nuestras propias venas y, al mismo tiempo, incorporamos a nuestra intimidad la canción del agua que pasa por debajo de todos nuestros puentes, agua que seguirá pasando cuando nuestro cuerpo retorne a la tierra. En definitiva, al ser extensos, tempóreos y noérgicos, participamos del acontecer cósmico, en cuyo dar de sí se instala nuestra obra.

Pero nuestra obra artificial procede de las cosas naturales que nos son dadas, las cuales nos proporcionan, además, la pauta de lo que tenemos que hacer en nuestra obra, pues ejemplifican la ley natural, a la cual tendrá que ajustarse la obra si va a permanecer en el mundo físico. Pero esta ley natural vale también para nuestro propio cuerpo, con lo cual volvemos a una triple implicación, ahora más general que la encontrada en el caso del puente, del mundo físico, de nuestra obra y de nuestra persona.

La misma relación de homogeneidad que vemos hace posible el acto de creación, posibilita también el de recreación, pues mediante su cuerpo el espectador puede penetrar en la obra, que tiene ya corporeidad física, tectónica. Y, además, la corporeidad es un llamamiento a lo estético. Existen términos que tienen validez en los tres ámbitos donde nos movemos; el físico-mecánico, el psico-biológico y el estético; y en otros casos, se pasa gradualmente de un ámbito a otro mediante términos en correlación escalonada como: equilibrio, serenidad, armonía; estática, mismidad cenestésica, estética; dinamismo, vitalidad, ritmo, etc.

En este capítulo se recogen una serie de fragmentos extraídos de diferentes artículos publicados por Carlos Fernández Casado, cuya selección ha sido realizada por Leonardo Fernández Troyano y Javier Manterola Armisén.

(1) Granada, 28-XI-1928.

(2) Publicado en la Revista de Obras Públicas, 1931-1933.

(3) Corresponde a una serie de artículos publicados en la revista de Estudios Geográficos desde febrero de 1948 a mayo de 1954.

(4) Publicado en la Revista de Ideas Estéticas, en 1951.

(5) Discurso de Ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

(6) Publicado en la Revista de Obras Públicas en 1931.

# *Bibliografía*

## *Libros*

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES (Con la colaboración de José Luis Fernández Casado).

1ª ed.: Editada por el autor. Madrid, 1934; 2ª ed., 1940; 3ª ed., 1944; 4ª ed., 1946; 5ª ed., 1948; 6ª ed., 1956; 7ª ed., 1958; 8ª ed., 1967. Ed. Dossat, Madrid.

FORMULARIO PARA EL PROYECTO DE PUENTES DE TRAMO RECTO DE HORMIGÓN ARMADO

Editado por el autor. Madrid, 1939.

RESISTENCIA

1ª Edición Editada por el autor. Madrid, 1941; 2ª ed.: Editorial. Dossat. Madrid, 1950.

FORMULARIO PARA EL PROYECTO DE PUENTES DE ARCO DE HORMIGÓN ARMADO

Editorial Dossat. Madrid: 1ª Ed., 1943; 2ª Ed., 1955.

ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS

1ª ed., 1948; 2ª ed., 1955. Editorial Dossat. Madrid.

CÁLCULO DE ARCOS

Editorial Dossat: Madrid, 1955.

PUENTES DE HORMIGÓN ARMADO PRETENSADO

Tomo I. Editorial Dossat. Madrid, 1961; Tomo II. Editorial Dossat. Madrid, 1965.

ACUEDUCTOS ROMANOS EN ESPAÑA

Recopilación de artículos publicados en la revista "Informes de la Construcción", Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1972.

LA ARQUITECTURA DEL INGENIERO

Recopilación de artículos sobre temas de ingeniería. Editorial Alfaguara. Madrid, 1975.

HISTORIA DEL PUENTE EN ESPAÑA. PUENTES ROMANOS

Recopilación de artículos publicados durante 25 años en la revista Informes de la Construcción, Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1980.

INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA

Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ediciones Turner: Madrid, 1983.

## *Publicaciones no periódicas*

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN Y FORMAS DE ENSAYO

Cursillo sobre Cemento en la Escuela especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Conferencia pronunciada el 11 de abril de 1934. Madrid, 1935.

COLECCIÓN DE PUENTES DE ALTURA ESTRICTA. SERIES III Y IV. PÓRTICOS TRIPLES

Editado por el autor. Madrid, 1939.

COLECCIÓN OFICIAL DE PUENTES DE TRAMO RECTO. TRAMOS DE UN VANO SIMPLEMENTE APOYADOS

Ministerio de Obra Públicas. Madrid, 1942.

TRAMOS RECTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Publicado en IX - PUENTES. Publicaciones de la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1944.

HISTORIA DE NUESTRAS CARRETERAS

Conferencia pronunciada en la Asociación de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Editada por el autor. Madrid, 1945.

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES ESPACIALES POR EL MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS (Con José Luis Fernández Casado)

Editorial Dossat. Madrid, 1947.

LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN ESPAÑOLAS EN LA INICIACIÓN DE LOS FERROCARRILES

"Cien años de Ferrocarril en España". Tomo II. Madrid, 1948.

ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA DE LA ROTURA DE LOS METALES

Instituto de la Soldadura. Patronato Juan de la Cierva. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Nº 9. Madrid, 1949.

BREVE HISTORIA DE LAS OBRAS PÚBLICAS EN ESPAÑA

Publicado en Breve historia de la Ingeniería Española. Editorial Dossat. Madrid, 1950.

ALGUNAS APLICACIONES A PUENTES

III Asamblea. Asociación Española del Hormigón. Monografía del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Nº 191. Madrid, 1959.

CONSTRUCCIÓN DE VIADUCTOS DE HORMIGÓN PRETENSADO

Cursillo sobre la práctica del hormigón pretensado, Autopistas Concesionaria Española, S.A. Barcelona, 1968.

TRES MOMENTOS DEL INGENIERO EN LA HISTORIA: El ingeniero romano, el ingeniero renacentista y el ingeniero actual

Publicado en el libro "Homenaje a Xavier Zubiri". Madrid, 1970.

EL ACUEDUCTO DE SEGOVIA

Publicación de Ciba-Geigy. Barcelona, 1973.

ESTRUCTURAS DE TRES TORRES SINGULARES EN MADRID: TORRES BLANCAS, TORRES COLÓN Y EDIFICIO DEL BANCO DE BILBAO

ASCE IABSE. Conferencia regional sobre edificios de altura. Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano. Madrid, septiembre, 1973.

CUBIERTAS DE HORMIGÓN PREMOLDEADO

Monografía del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. I Asamblea General. Nº 120.

ENFOQUE DE LA ESTÉTICA DESDE LA FILOSOFÍA DE ZUBIRI

Publicado en Realitas I. Semanario de Xavier Zubiri. Sociedad de Estudios y Publicaciones. Madrid, 1974.

NATURALIDAD Y ARTIFICIO EN LA OBRA DEL INGENIERO

Publicado en Realitas II. Trabajos del Seminario Xavier Zubiri. Sociedad de Estudios y Publicaciones. Madrid, 1976.

ESTÉTICA DE LAS ARTES DEL INGENIERO

Discurso leído el día 21 de noviembre de 1976 con motivo de su recepción en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

#### PUENTES I

Curso especializado de hormigón. Clases. I Panorama de los puentes actuales. II Clasificación de los puentes de Hormigón. III Puentes de tramo recto.

Serie monográfica de la Agrupación de Fabricantes del Cemento en España. nº 14. Madrid, 1977.

PUENTE DE 70 M DE LUZ CON ARCOS PREFABRICADOS ( PUENTE SOBRE EL RÍO CAUDAL EN MIERES )

Dragados y Construcciones. Servicio de rendimiento de equipos y transmisión de experiencia.

### *Artículos de revistas*

#### REVISTAS DE OBRAS PÚBLICAS

Radiofaros. (14) 1927-29.

Teoría del arco: (1) 15, julio, 1931; (2) 1, septiembre, 1931; (3) 15, octubre, 1932; (4) 1, noviembre, 1932; (5) 1, diciembre, 1932; (6) 1, enero, 1933; (7) 15, febrero, 1933; (8) 15, septiembre, 1933; (9) 1, octubre, 1933; (10) 1, noviembre, 1933; (11) 15, febrero, 1935.

Fotoelasticimetría: (1) 15, enero, 1932; (2) 1, febrero, 1932; (3) 15, abril, 1932; (4) 1, agosto, 1932.

Colección de puentes de altura estricta: (1) 15, enero, 1934; (2) 1, febrero, 1934; (3) 1, marzo, 1934; (4) 15, abril, 1934; (5) 15, mayo, 1934; (6) 15, septiembre, 1936; (7) 15, octubre, 1936.

El nuevo puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares en Madrid. Septiembre, 1934.

El taller de Montaje del INTA en Torrejón de Ardoz. Con Ildefonso Sánchez del Río. Enero-febrero, 1951.

Construcción, Proyecto y Cálculo: (1) febrero, 1957; (2) marzo, 1957; (3) mayo, 1957.

Caracterización profesional del ingeniero. Marzo, 1958.

Valencia y el Turia: El río, la ciudad y sus puentes. Abril, 1959.

Grandes elementos de hormigón prefabricado para edificios industriales. Comunicación presentada al III Congreso Internacional de hormigón prefabricado de Estocolmo. Con Luis Huarte Goñi. Noviembre, 1960.

Uniones de elementos en las estructuras prefabricadas compuestas. Comunicación presentada al IV Congreso Internacional de Puentes y Estructuras de Estocolmo. Con Luis Huarte Goñi. Enero, 1961

Las presas romanas en España. Junio, 1961

Los puentes de fábrica durante el año 1962. Enero, 1963. Los puentes de fábrica durante el año 1963. Enero, 1964; Los puentes de fábrica durante el año 1964, Marzo 1965; Los puentes de fábrica durante el año 1965. Oct. 1966; Los puentes de fábrica durante el año 1966. Sept.-Oct. 1967; Los puentes de fábrica durante el año 1967. Dic. 1968; Los puentes de fábrica durante el año 1968. Dic. 1969.

Construcción de puentes por voladizos sucesivos mediante dovelas prefabricadas. Julio, 1970

Madrid y el Manzanares. El río, la ciudad y sus puentes. (1) enero, 1974; (2) sept., 1974; (3) dic., 1974; (4) marzo, 1975.

Estética de las artes de Ingeniero. Enero, 1977.

Los depósitos de agua de las construcciones romanas. Mayo, 1977.

#### INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Telefonía automática.

Teoría de la plasticidad de las estructuras de hormigón y una nueva teoría de la elasticidad de las mismas. Resumen del trabajo de López G. Straub. Mayo, 1932

Teoría de la losa continua sobre columnas: (1) enero, 1934; (2) abril, 1934; (3) junio, 1934.

Las estructuras durante los años: (1) 1930 ; (2) 1931- febrero, 1932 ; (3) 1933 - febrero, 1934 ; (4) 1934 ; (5) 1935- febrero, 1936.

U.R.E.

Radiofaros. Noviembre y diciembre, 1928.

#### HORMIGÓN Y ACERO

Número dedicado al concurso de proyectos del hipódromo de Madrid. Proyecto de los arquitectos F. Heredero y Javier F. Golfín. Ingeniero: Carlos Fernández Casado. Noviembre, 1934.

#### FERROCARRILES Y TRANVÍAS

Estudio fotoelástico de la armadura de un costado de caja de un coche metálico. Noviembre, 1932.

Modelos de obras en pasos de carretera sobre ferrocarril. Octubre, 1934

#### INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN

Colección de puentes de altura estricta. (2) 1955.

Puentes sobre el aliviadero del embalse de Cubillas. Noviembre, 1955.

Dos puentes acueductos construidos sin cimbras de madera ni andamios. Octubre, 1956.

Prefabricación. Octubre, 1959.

La Factoría de Barros (La Felguera) de la Sociedad Ibérica del Nitrógeno. Noviembre, 1957.

La cubierta colgante del pabellón del INI en la Feria del Campo. Arquitectos: Juan B. Esquer y Francisco Bellosillo. Ingeniero: Carlos Fernández Casado. Diciembre, 1958.

Historia del puente en España (puentes romanos). (6) 1954-66.

Vigas trianguladas con pretensado parcial en el taller de laminación de ENSIDESA, de Avilés. Nº 102.

El Laboratorio de Estructuras de una Empresa Constructora. Abril, 1961.

Viga de hormigón pretensado para cobertura de calle Aragón (Barcelona). Junio, 1962.

El hormigón pretensado en puentes de ferrocarril. (1) septiembre, 1960; (2) octubre, 1960.

Eduardo Torroja: Puentes. Marzo, 1961.

Utilización del hormigón pretensado en viaductos urbanos. Mayo, 1961.

El puente sobre el lago Maracaibo. Mayo, 1962.

Ejecución de puentes pretensados por voladizos sucesivos. (1) diciembre, 1963; (2) enero, 1964; (3) febrero, 1964; (4) marzo, 1964.

El puente de Almodóvar, sobre el Guadalquivir. Enero-febrero, 1967.

Los puentes de la autopista de Madrid a La Coruña. (1) octubre, 1967; (2) noviembre, 1967.

Acueductos romanos en España. (5) 1968-72.

Estructuras de Torres Blancas. Arquitecto: F. Sáenz de Oiza. Ingenieros: Carlos Fernández Casado y J. Manterola Armisén.

Puente sobre el río Ebro. Castejón-España. Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano.

Viaducto de Ferrocarril en Gerona. Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano. Enero-febrero, 1975.

Estructura de las Torres Colón. Madrid: Espasa. Con Javier Mantecola Arriñen y Leonardo Fernández Troyano.

Análisis sobre el uso Habregat. Con Javier Mantecola Arriñen y Leonardo Fernández Troyano. N.º 147.

#### OTRAS NOTICIAS DE LA ACTIVIDAD EN EL DISEÑO DE PUENTES

Estructuras de investigación pretensada realizadas y en vías de realización en 1973-1974. Conferencia pronunciada en la IV Asamblea de la Asociación Española de Ingeniería Pretensada. N.º 54.

#### HOVARS Y VILHO-OSEGARETA (Ipsa)

Seminario sobre puentes tubulares. Madrid: 1972. Introducción. 3.º Trimestre, 1971.

Puentes nuevos y curvas sobre apoyos puntuales. Con Javier Mantecola Arriñen y Leonardo Fernández Troyano. 9.º Trimestre, 1973.

Puentes pretensados construídos en España. 8.º Trimestre, 1971.

Los puentes pretensados en el último congreso de la IIP. Londres, 1978. Con Javier Mantecola Arriñen y Leonardo Fernández Troyano. 2.º Trimestre, 1978. 4.º Trimestre, 1979.

#### REVISTA TECNICA DE ARQUITECTURA

Estadio de San Mames, en Bilbao. Arquitectos, José A. Domínguez Salazar, Ricardo Magalalena, Carlos de Miguel. Ingeniero Carlos Fernández Casado. (11 trimestre), 1951; (12 mayo), 1952.

La estructura del Estadio Hermandad del Real Madrid C. ( junio ), 1953.

Estado, presente y futuro del puente de Toledo. (Octubre), 1969.

El paso elevado de Cuatro Caminos, en Madrid. Con Javier Mantecola Arriñen y Leonardo Fernández Troyano. (Enero), 1970.

Felix Huarte. Estructuras. (Octubre), 1971.

#### 1954

Colección de puentes de altura estrecha. Mayo, 1940.

#### REVISTA TECNICA DE ARQUITECTURA

La conducción forzosa de aguas de Almadén. N.º 77, 1949.

#### REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

Teoría del puente. (1 febrero), 1951; (10 mayo), 1951; (25 junio), 1951.

#### 1955 (Ipsa)

Sobre el puente de Toledo. 2.º Cuatrimestre, 1952.

#### 1956 (Ipsa) (Ipsa)

Tipología geográfica de las obras del ingeniero. (6): 1948-54.

#### REVISTA DE LA INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA EN LA CONSTRUCCION DE MADRID

Historia documental de los puentes de Madrid. Puente de Segovia. Enero, 1954.

#### COMUNICACIONES A LOS CONGRESOS DE INGENIEROS

Prestaci6n de Bridges in Spain. (1): 1957.

#### ENCUENTROS CON EL MUNDO

Spain sees some bridges. Meney. (11) 1958.

## MEMORIES DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALES DES PONTS ET CHARPENTES

Aplicación de la prefabricación aux ponts en arc (Vol. 15). 1955.

## ACIER STAHL STEEL

The steel Roof of San Mamés Stadium at Bilbao (Spain). Architectes: Carlos de Miguel, Ricardo Magdalena, J.A. Domínguez Salazar. Ingénieur: Carlos Fernández Casado. Enero, 1956.

## STEEL CONSTRUCTION DIGEST

The steel Roof of the San Mamés Stadium at Bilbao (Spain). 3<sup>rd</sup> Quarter, 1956.

## L'ARCHITECTURE D'AUJOURD'HUI

Coverture d'une tribune Stade San Mamés à Bilbao, Espagne. Architectes: Carlos de Miguel, Ricardo Magdalena, J.A. Domínguez Salazar. Ingénieur: Carlos Fernández Casado.

## MATERIALES, MAQUINARIA Y MÉTODOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Prefabricados de hormigón. El puente de Almodóvar sobre el río Guadalquivir, cerca de Córdoba. Febrero, 1967.

Grandes elementos de hormigón prefabricado para edificios industriales. III Congreso Internacional de prefabricados de hormigón. Estocolmo, 1960. Nº 16.

## L'INDUSTRIA ITALIANA DEL CEMENTO

Il ponte de Almodóvar sul le Guadalquivir. Marzo, 1966.

La struttura de Torres Blancas (Madrid). Con Javier Manterola Armisén. Marzo, 1970.

Il ponte de Castejón construito a sbalzo con conci prefabbricati sul fiume Ebro (Spagna). Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano. Luglio, 1971.

Una struttura a piani appesi. Le Torri Colón a Madrid. Progetto architettonico Dr. Arch: Antonio Lamela. Progetto strutturale Prof. Ing. Carlos Fernández Casado. Prof. Ing. Javier Manterola Armisén. Ing. Leonardo Fernández Troyano.

## LA TECHNIQUE DES TRAVAUX

La couverture en arc du nouveau garage pour trolleybus de Madrid. Ignacio Fiter, architecte. Carlos Fernández Casado, ingénieur. Nov.-decembre, 1956.

## BOLETÍN DE INFORMACIÓN DEL M.O.P.

Obras de fábrica en el tramo Las Rozas-Villalba.

## INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO

Puente de Castejón sobre el río Ebro (España). Construido con secciones prefabricadas. Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano. Marzo-abril, 1972.

## BOLETÍN DE LA REAL ACADEMIA DE BELLAS ARTES DE SAN FERNANDO

Tres monumentos salvados de las aguas por la Sociedad Hidroeléctrica Española. 2º Semestre, 1979.

## AFINIDAD

Adhesivos epoxit en prefabricación. Junio, 1972.

## BULLETIN DE L'ASSOCIATION INTERNACIONAL DES PONTS ET CHARPENTENTS (SUIZA)

Pont sur le canal d'évacuation des crues du barrage de Cubillas (Espagne). Nº 15 Mayo, 1956.

Couvertures en sheds prefabriques pour bâtiments industriels (Espagne). Nº 15 Mayo, 1956.

Stade Bernabéu pour 100.000 spectateurs à Madrid (Espagne). Nº 15 Mayo, 1956.

Tribune principale, Stade San Mamés à Bilbao (Espagne). Nº 15 mayo, 1956.

QUADERNS D'ARQUITECTURA Y URBANISME (Publicació del col·legi oficial d'arquitectes de Catalunya)

La estructura resistente de la Mezquita de Córdoba. Desembre, 1981.

CONSTRUCCIÓN, ARQUITECTURA Y URBANISMO (Publicación del Colegio Oficial de Aparejadores Técnicos de Barcelona)

Nuestra relación con la catedral gótica. Lección inaugural del curso 1981-82 de la E. T.S. Arquitectura Madrid. Noviembre, 1982.

### *Contribución a congresos internacionales*

ASSOCIATION INTERNATIONALE DES PONTS ET CHARPENTS

Dalles campignons. Lieja, septiembre, 1948.

Dalles continues. Lieja, septiembre, 1948.

Aplications de la prefabrication aux ponts en arcs. Estocolmo, 1960.

Assemblages des elements dans les constructions composées prefabriquées. Con Luis Huarte Goñi. Estocolmo, 1960.

La prefabrication en Espagne. Río de Janeiro, 1964.

ASSOCIATION INTERNATIONALES DU BETON MANUFACTURE

Prefabrications des pieces lourdes pour bâtiments industriels. Estocolmo, 1960.

Prefabrications des ponts par voussoirs. París, 1963.

FEDERATION INTERNATIONALE DE LA PRECONTRAINTE

Poutres reticulaires precontraintes pour le halle de lamiagges de la ENSIDESA (Avilés). Berlín, 1958.

Puentes construidos desde el Congreso anterior. Ponencia del grupo español. París, 1996 ; Praga, 1970 ; Nueva York, 1974 ; Londres, 1978.

Construction de ponts à travées droites en consoles successives par voussoirs prefabriqués. Con Javier Manterola Armisén y Leonardo Fernández Troyano. Praga, 1970.

ASSOCIATION INTERNATIONALE DES VOUTES MINCES

Note sur quelques couvertures en dent de scie construites a Barcelona. Madrid, 1954.

Toitute suspendue à systeme unique de cables pour le pavillon del INI dans la Foire International agricole de Madrid. París, 1963.

FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE CARRETERAS (IV Reunión Mundial, Madrid)

Los puentes españoles de carretera en la actualidad (Madrid). 14-20 octubre, 1962.

COORDINACIÓN

ISABEL RUI-WAMBA Y PILAR CARRIZOSA

REALIZACIÓN Y DISEÑO GRÁFICO

PILAR CARRIZOSA

FOTOCOMPOSICIÓN, FOTOMECÁNICA E IMPRESIÓN

GRÁFICAS PALERMO, S.L.

PAPEL: REGISTRO AHUESADO, 125 G/M<sup>2</sup>. TIPOGRAFÍA: GARAMOND

EDITA: FUNDACIÓN ESTEYCO



FUNDACION  
ESTEYCO