



**asociación técnica  
española del pretensado**

hormigón y acero n. 100



ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA  
DEL PRETENSADO

INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA  
CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

CHAMARTIN  
- 16

4823

**HORMIGÓN**

y acero

n. 100

## MIEMBROS PROTECTORES DE LA ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO

Dentro de nuestra Asociación existe una categoría, la de "Miembro Protector", a la que pueden acogerse, previo pago de la cuota especial al efecto establecida, todos los Miembros que voluntariamente lo soliciten. Hasta la fecha de cierre del presente número de la Revista, figuran inscritos en esta categoría de "Miembro Protector" los que a continuación se indican, citados por orden alfabético:

CANTERAS Y AGLOMERADOS, S. A. — Pintor Fortuny, 3. Barcelona-1.  
CENTRO DE TRABAJOS TECNICOS, S. L. — Consejo de Ciento, 304. Barcelona-7.  
ELABORADOS METALICOS, S. A. (EMESA). — Apartado 553. La Coruña.  
FORJADOS DOMO. — General Mola, 31. Madrid-1.  
INTEMAC, S. A. — Monte Esquinza, 30. Madrid-4.  
MEDITERRANEA DE PREFABRICADOS, S. A. — Apartado 34. Benicarló (Castellón).  
NUEVA MONTAÑA QUIJANO, S. A. — P.º de Pereda, 32. Santander.  
PACADAR, S. A. — Castelló, 48. Madrid-1.  
PREFABRICACION PESADA Y PRETENSADOS. — Comandante Zorita, 2. Madrid-20.  
PROCEDIMIENTOS BARREDO. — Raimundo Fernández Villaverde, 45. Madrid-3.  
PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL. — General Perón, 20. Madrid-20.  
S. A. ECHEVARRIA. — Apartado 46. Bilbao-8.  
S.A.E. BBR. — Rosellón, 229. Barcelona-8.  
SICOP, S. A. — Princesa, 24. Madrid-8.  
TRENZAS Y CABLES DE ACERO, S. A. — Monturiol, 5. Santa María de Bárbara (Barcelona).

La Asociación Técnica Española del Pretensado se complace en expresar públicamente su agradecimiento a las Empresas citadas, por la valiosa ayuda que le prestan, con su especial aportación económica, para el desenvolvimiento de los fines que tiene encomendados.

## Nuevos Miembros Correspondientes del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

En las sesiones del Consejo Técnico Administrativo de este Instituto Eduardo Torroja, celebradas los días 26 de mayo y 31 de julio del presente año 1971, se trató sobre los deseos de estrechar los lazos de unión con el I.E.T.c.c., expresados por el Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Agrimensura de la Universidad de la República del Uruguay; el Centro Impulsor de la Habitación, A.C., de Méjico, y el Departamento de Investigación de la Dirección General de Tecnología del Ministerio del Bienestar Social de la República Argentina.

En este sentido, el Consejo hizo constar el especial interés y cariño con que acoge los deseos de dichos Centros, en la seguridad del positivo beneficio que reportará toda acción encaminada a fortalecer las relaciones entre ambas instituciones.

En consecuencia, y por unanimidad, se tomó el acuerdo de conceder a los Centros citados, a todos los efectos de colaboración a que pueda dar lugar, el título de Miembros Correspondientes del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

## Son Instituciones Miembros Correspondientes del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento

La Pontificia Universidad Católica de Chile.  
La Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle de Cali (Colombia).  
El Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca (República Argentina).  
La Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.  
La Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.  
La Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba (República Argentina).  
La Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile (Santiago de Chile).  
El Instituto de la Construcción de Edificios de la Facultad de Arquitectura. Montevideo (Uruguay).  
El Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires.  
La Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia.  
La Universidad Autónoma - Guadalajara, Jalisco, México.  
El Departamento Técnico y Laboratorios de Aproveche, Caracas.  
Instituto de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Agrimensura de la Universidad de la República del Uruguay.  
Centro Impulsor de la Habitación, A.C., de Méjico.  
Departamento de Investigación de la Dirección General de Tecnología del Ministerio del Bienestar Social de la República Argentina.

**ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO**

**h**ormigón y **a**cero

**n. 100**

**3.º trimestre 1971**

INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO, - COSTILLARES - CHAMARTIN - MADRID-16

Depósito Legal: M 853-1958  
Tipografía Artística, - Madrid.

*procedimientos*

# Barredo



## REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON

- Sistemas Barredo y Multi-B de hormigón postesado
- Cimbras para lanzamientos de vigas

**Raimundo Fernández Villaverde, 45 - Teléfono 233 03 00 - MADRID - 3**

## asociación técnica española del pretensado

CUOTA ANUAL	ESPAÑA	EXTRANJERO
	Pesetas	Dólares
Miembros protectores .....	5.000	100,—
Miembros colectivos .....	2.000	40,—
Miembro personal, no adherido al I. E. T. e. c. ....	600	12,—
Miembro personal, adherido al I. E. T. e. c. ....	300	6,—

NI la Asociación ni el Instituto, una de cuyas finalidades es divulgar los trabajos de investigación sobre la construcción y sus materiales, se hacen responsables del contenido de ningún artículo y el hecho de que patrocinen su difusión no implica, en modo alguno, conformidad con la tesis expuesta.

De acuerdo con las disposiciones vigentes, deberá mencionarse el nombre de esta Revista en toda reproducción de los trabajos insertos en la misma.

# hormigón y acero n. 100

## índice

Páginas

**Opiniones sobre la Revista con motivo del n.º 100** . . . . . 9

Opinions on the Magazine on it's 100th. issue.  
Opinions sur la revue lors de la parution du numero 100.

**Simposio sobre viaductos urbanos** . . . . . 29

Symposium on urban flyovers.  
Symposium sur les viaducs urbains.

**591 - 2 - 44 Introducción al tema** . . . . . 29

Introduction.  
Introduction au sujet.  
C. Fernández Casado

**591 - 2 - 45 Enlace a distinto nivel en la glorieta de Atocha, de Madrid** . . . . . 33

Elevated roundabout in Glorieta de Atocha, Madrid.  
Passage surélevé sur la Glorieta de Atocha, à Madrid.  
J. A. de las Heras

**591 - 2 - 46 Paso elevado Francisco Silvela - Joaquín Costa** . . . . . 43

Francisco Silvela-Joaquín Costa flyover.  
Passage surélevé Francisco Silvela-Joaquín Costa.  
José A. López Iamar y A. Gimeno Fungairiño

**591 - 2 - 47 Puente sobre la Castellana, entre Juan Bravo y Eduardo Dato** . . . . . 49

Bridge over Castellana, between Juan Bravo and Eduardo Dato.  
Pont sur la Castellana, entre Juan Bravo et Eduardo Dato.  
A Corral, J. Martínez Calzón y José A. Fernández Ordóñez

### Comité de Redacción de la Revista Hormigón y Acero

AROCA, Ricardo  
BARREDO, Carlos  
CUVILLO, Ramón  
FERNANDEZ TROYANO, Leonardo  
FERNANDEZ VILLALTA, Manuel  
JODAR, Juan  
MANTEROLA, Javier  
MARTINEZ SANTONJA, Antonio  
MONEO, Mariano  
MORENO TORRES, Juan  
PIÑEIRO, Rafael  
ROMERO, Rafael

<b>591 - 2 - 48</b>	<b>Paso elevado sobre la Castellana, entre Raimundo Fernández Villaverde y Joaquín Costa . . . . .</b>	59
	Elevated Road in Castellana, between Raimundo Fernández Villaverde and Joaquín Costa. Passage surélevé sur la Castellana, entre Raimundo Fernández Villaverde et Joaquín Costa. C. Hernández - Ros	
<b>591 - 2 - 49</b>	<b>Viaductos urbanos en Londres . . . . .</b>	67
	Flyovers in London. Viaducts urbains à Londres. D. J. Lee	
<b>591 - 2 - 50</b>	<b>Pasos superiores en Madrid . . . . .</b>	91
	Flyovers in Madrid. Passages surélevés à Madrid. R. Valls González	
<b>591 - 2 - 51</b>	<b>Pasos superiores de Cuatro Caminos, en Madrid; Zaramaga en Vitoria y S. Pedro Mezonzo y Primo de Rivera, en La Coruña. . . . .</b>	99
	Cuatro Caminos flyovers, in Madrid; Zaramaga, in Vitoria; S. Pedro Mezonzo and Primo de Rivera, in La Coruña. Passages surélevés de Cuatro Caminos à Madrid; Zaramaga à Vitoria et S. Pedro Mezonzo et Primo de Rivera à La Coruña. J. Manterola	
	<b>Intervención final . . . . .</b>	113
	Last contribution. Intervention finales. C. Fernández Casado	
	<b>Palabras de clausura . . . . .</b>	115
	Closing words. Paroles de clôture. F. Cassinello	
<b>591 - 8 - 18</b>	<b>Prefabricación de pasos elevados urbanos. . . . .</b>	117
	Prefabrication of urban flyovers. Préfabrication de passages surélevés urbains. A. Caparrós Navarro y A. Verde Martín	
	<b>Notas de la F.I.P., números 31, 32 y 33. . . . .</b>	131
	F.I.P. Notes nos. 31, 32 and 33. Notes de la F.I.P., nos. 31, 32 et 33.	
<b>PORTADA:</b>	<b>Madrid</b> (Foto: Paisajes españoles.)	

**RELACION DE EMPRESAS QUE, EN LA FECHA DE CIERRE DEL PRESENTE NUMERO,  
FIGURAN INSCRITAS EN LA ASOCIACION TECNICA ESPAÑOLA DEL PRETENSADO,  
COMO "MIEMBROS COLECTIVOS"**

**E S P A Ñ A**

AEDIUM, S. A. — Basauri (Vizcaya).  
AGRUPACION NACIONAL DE LOS DERIVADOS DEL CEMENTO. — Madrid.  
AGUSTI, S. L. — Gerona.  
ASOCIACION TECNICA DE DERIVADOS DEL CEMENTO. — Barcelona.  
AUTOPISTAS, CONCESIONARIA ESPAÑOLA, S. A. — Barcelona.  
BAGANT. — Castellón.  
BUTSEMS, S. A. — Barcelona.  
BUTSEMS, S. A. — Madrid.  
CAMARA, S. A. — VIGUETAS CASTILLA. — Valladolid.  
CAMINOS Y PUERTOS, S. A. — Madrid.  
CASA GARGALLO, S. A. — Madrid.  
CENTRO DE ESTUDIOS C.E.A.C. — Barcelona.  
CERAMICA RUBIERA. — Gijón (Oviedo).  
CIDESA, CONSTRUCCION INDUSTRIAL DE EDIFICIOS, S. A. — Barcelona.  
CIMACO, S. A. — Madrid.  
COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES. — La Coruña.  
COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS VASCO-NAVARRO. — Bilbao.  
COMPAÑIA AUXILIAR DE LA EDIFICACION, S. A. — Madrid.  
CIA. DE CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS Y CIVILES, S. A. — HIDROCIVIL. — Madrid.  
CONSTRUCCIONES BETIKO, S. A. — Bilbao.  
CONSTRUCCIONES COLOMINA G. SERRANO, S. A. — Madrid.  
CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS, S. A. — Madrid.  
CONSTRUCCIONES PUJOL, S. A. — Madrid.  
CONSTRUCTORA MAXACH, S. A. — Madrid.  
COTECOSA. — Bilbao.  
CUPRE. —Valladolid.  
DIREC. GENERAL DE FORTIFICACIONES Y OBRAS.—MINIST. DEL EJERCITO.—Madrid.  
DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S. A. — Madrid.

EDES, S. A. — Madrid.  
EMPRESA AUXILIAR DE LA INDUSTRIA. — AUXINI. — Madrid.  
ENAGA, S. A.— Madrid.  
ENTRECANALES Y TAVORA, S. A. — Madrid.  
ESTUDIOS Y PROYECTOS TECNICOS INDUSTRIALES, S. A. — Madrid.  
E. T. S. ARQUITECTURA. — Barcelona.  
EUROESTUDIOS, S. A. — Madrid.  
EXPOSICION PERMANENTE E INFORMACION DE CONSTRUCCION. — EXCO. — Madrid.  
FABRICADOS PARA LA CONSTRUCCION, S. A. — FACOSA. — Madrid.  
FERGO, S. A. DE PRETENSADOS. — Valencia.  
FERNANDEZ CONSTRUCTOR, S. A. — Madrid.  
FERROLAND, S. A. — Valencia.  
FORJADOS "DOL". — Esquivias (Toledo).  
FORMO, S. A. — Barcelona.  
GABINETE DE ORGANIZACION Y NORMAS TECNICAS. — MINIST. DE O. P. — Madrid.  
HEREDIA Y MORENO, S. A. — Madrid.  
HIDAQUE, S. A. — Granada.  
HIERROS FORJADOS Y CEMENTOS, S. A. — HIFORCEM. — Sevilla.  
HORMYCER, S. L. — Madrid.  
HORSA, S. A. — Barcelona.  
HUARTE Y CIA., S. A. — Madrid.  
INDUSTRIAS ALBAJAR, S. A. — Zaragoza.  
INDUSTRIAS DEL CEMENTO. — VIGUETAS CASTILLA, S. A. — Sestao (Vizcaya).  
INDUSTRIAS DEL HORMIGON. — INHOR. — Madrid.  
INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES SALA AMAT, S. A. — Barcelona.  
INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION. — Madrid.  
INTERNACIONAL DE INGENIERIA Y ESTUDIOS TECNICOS, S. A. — INTECSA. — Madrid.  
JEFATURA PROVINCIAL DE CARRETERAS DE ALMERIA. — Almería.  
JEFATURA PROVINCIAL DE CARRETERAS DE SALAMANCA. — Salamanca.  
JEFATURA PROVINCIAL DE CARRETERAS DE VALENCIA. — Valencia.  
3.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — SERVICIO DE CONSTRUCCION. — Bilbao.  
3.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — SERVICIO DE MATERIALES. — Bilbao.  
5.ª JEFATURA REGIONAL DE CARRETERAS. — Barcelona.  
JOSE MARIA ELOSEGUI. — CONSTRUCCIONES. — San Sebastián (Guipúzcoa).  
JUNTA DEL PUERTO DE ALMERIA. — Almería.  
LABORATORIO DE INGENIEROS DEL EJERCITO. — Madrid.  
LABORATORIO DEL TRANSPORTE Y MECANICA DEL SUELO. — Madrid.  
LAING IBERICA, S. A. — Madrid.

LIBRERIA RUBIÑOS. — Madrid.  
MAHEMA, S. A. — Granollers (Barcelona).  
MATERIALES PRETENSADOS, S. A. — MATENSA. — Madrid.  
MATERIALES Y TUBOS BONNA, S. A. — Madrid.  
MATUBO, S. A. — Madrid.  
OTAISA. — Sevilla.  
OTEP INTERNACIONAL, S. A. — Madrid.  
V. PEIRO, S. A. — Valencia.  
PIEZAS MOLDEADAS, S. A. — PIMOSA. — Barcelona.  
PREFABRICADOS ALAVESES, S. A. — PREASA. — Vitoria (Alava).  
PREFABRICADOS DE CEMENTOS, S. A. — PRECESA. — León.  
PREFABRICADOS ELKAR, S. A. — Burlada (Pamplona).  
PREFABRICADOS NAVARROS, S. A. — Olazagutía (Navarra).  
PREFABRICADOS POUASA, S. A. — Santa Perpetua de Moguda (Barcelona).  
PREFABRICADOS STUB. — MANRESANA DE CONSTRUCC., S. A. — Manresa (Barcelona).  
PRETENSADOS AEDIUM, S. L. — Pamplona (Navarra).  
PRODUCTOS DERIVADOS DEL CEMENTO, S. L. — Valladolid.  
PRODUCTOS PRETENSADOS, S. A. — POSTENSA. — Bilbao.  
PROTEC, S. L. — Gijón (Oviedo).  
REALIZACIONES Y ESTUDIOS DE INGENIERIA, S. A. — Madrid.  
RENFE. — Madrid.  
ROSADO, S. A. — Cáceres.  
RUBIERA PREFLEX, S. A. — Gijón (Oviedo).  
S. A. E. M. — Valencia.  
SAINCE. — Madrid.  
SALTOS DEL SIL, S. A. — Madrid.  
SECOTEC. — Madrid.  
SENER, S. A. — Las Arenas (Vizcaya).  
SERVICIO MILITAR DE CONSTRUCCIONES. — Barcelona.  
SIKA, S. A. — Madrid.  
SOCIEDAD ANONIMA ESPAÑOLA TUBO FABREGA. — Madrid.  
SOCIEDAD ANONIMA FERROVIAL. — Madrid.  
SOCIEDAD ANONIMA DE MATERIALES Y OBRAS. — Valencia.  
SOCIEDAD FRANCO-ESPAÑOLA DE ALAMBRES, CABLES Y TRANSPORTES AEREO,  
SOCIEDAD ANONIMA. — Erandio (Bilbao).  
SOCIEDAD GENERAL DE OBRAS Y CONSTRUCCIONES. — OBRASCON. — Córdoba.  
TAU CENTRO, S. A. — Madrid.  
TEJERIAS "LA COVADONGA". — Muriedas de Camargo (Santander).  
TENSYLAND, S. A. — Gironella (Barcelona).  
TEPSA. — Tarrasa (Barcelona).

TOSAM, S. L. — Segovia.  
TUBERIAS Y PREFABRICADOS, S. A. — TYPASA. — Madrid.  
UNION MADERERA CACEREÑA, S. L. — Cáceres.  
VALLEHERMOSO, S. A. — Madrid.  
VIAS Y OBRAS PROVINCIALES.— San Sebastián (Guipúzcoa).  
VIGAS REMARRO. — Motril (Granada).  
VIGUETAS ASTURIAS, S. L. — Oviedo.  
VIGUETAS BORONDO. — Madrid.  
VIGUETAS FERROLAND, S. A. — Santa Coloma de Gramanet (Barcelona).

### EXTRANJERO

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA. — Buenos Aires (República Argentina).  
B.K.W.Z. "RUCH". — Warszawa (Polonia).  
CACERES & PIAGGIO, CONTRATISTAS GENERALES, S. A. — Lima (Perú).  
EMPRESA DE CONSTR. CIVIS E INDUSTRIAIS, LDA. — Lourenço Marques (Mozambique).  
ESCUELA DE CONSTRUCCION CIVIL. — Univ. Católica de Valparaíso. Valparaíso (Chile).  
FACULTAD DE INGENIERIA. — Universidad Católica de Salta. — Salta (Rep. Argentina).  
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY (BIBLIOTECA). — Monterrey N. L. (México).  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. — DIRECCION DE VIALIDAD. — DIV. BIBLIOTECA Y PUBLICACIONES. — La Plata (Prov. de Buenos Aires), República Argentina.  
NATIONAL REFERENCE LIBRARY OF SCIENCE AND INVENTION. — Londres (Inglat.).  
UNIVERSIDAD DE CHILE. — AREA DE ARTE Y TECNOLOGIA (Departamento Tecnológico). — Valparaíso (Chile).  
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO (BIBLIOTECA). — Mayaguez (Puerto Rico).

PROES

# CIEN...

Hoy, amable lector, celebramos alborozados el cumplimiento de una etapa importante para nuestra revista HORMIGÓN Y ACERO, que a fuerza de años de actividad ininterrumpida ha llegado a este número tan redondo, ¡EL CIEN!...

Un número que no es sólo uno más, sino uno muy singular, que no hemos querido dejar pasar por alto sin aprovechar para mirar un poco hacia atrás y un mucho hacia adelante.

Porque HORMIGÓN Y ACERO se siente orgullosa de establecer el diálogo entre los asociados a la A.T.E.P. y el mundo constructivo. Y en este su papel divulgador pretende ser fiel aliado de todos sus lectores, a quienes agradece sus sugerencias, sus críticas y, sobre todo, sus colaboraciones. Es nuestra Revista, pero "nuestra", de todos y para todos.

Por ello, ahora, que sólo nos detuvimos unos instantes para mirar hacia atrás y ver el camino recorrido, HORMIGÓN Y ACERO os invita a asomarnos a sus páginas para publicar vuestras inquietudes y vuestros éxitos. Porque CIEN, con ser mucho, confiamos en que será muy poco al lado de lo muchísimo que aún nos queda por hacer, ya que cada día debemos sentir con más fuerza nuestra impaciencia, de cara a un porvenir de novedad y de progreso.

Y como homenaje a este CIEN, publicamos a continuación las colaboraciones de los primeros que acudieron a nuestra llamada... Que su ejemplo sea contagioso, y que todos sintamos la obligación de empujar nuestra Revista hacia arriba, a la par que nos sintamos orgullosos de sus éxitos, como este del centenúmero.

EL PRESIDENTE DE LA A.T.E.P.,

FERNANDO CASSINELLO

Dr. Arquitecto

**Grandes luces**  
**Canto estricto**  
**Sin apeos ni cerchas**  
**Fácil montaje**

**VIGAS RUBIERA PREFLEX PARA**  
**VIADUCTOS URBANOS, APARCA-**  
**MIENTOS, PUENTES Y GRANDES**  
**LUCES EN EDIFICACION**



Dos vigas Preflex en un tramo de 35 m en el paso elevado de Capitán Cortés. Véase la colocación de las viguetas del encofrado del tablero, que va a ser soportado por las vigas Preflex sin ningún apeo y conservando el paso de la circulación

*Pida más información a:*

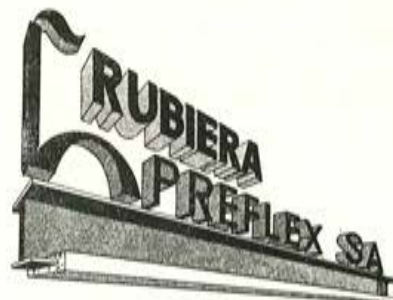
**RUBIERA PREFLEX S. A.**

**Uría, 44**

**Apartado 450**

**G I J O N**

**Teléfono 35 63 00**



NOMBRE Y MARCA REGISTRADOS

# evocación de nimios episodios personales

**Buenaventura Bassegoda**

**Prof. Arquitecto**

***In pauca fidelis: "No desdeñes las pequeñeces"***

**Monseñor ESCRIVA DE BALAGUER**

El Secretario de la Asociación Técnica Española del Pretensado, amigo mío, tan bueno como inteligente, solicita que existime o dé opinión sobre los defectos y virtudes de la Revista *HORMIGÓN Y ACERO*, tanto en su presentación como en su contenido. Así, me pone en un brete. Porque mi sincero criterio sobre dicha publicación se cifra en la escueta fórmula: *Nada que objetar*. Dado que no peca por exceso ni por omisión. *Es la obra bien hecha*, que pedía nuestro filósofo Eugenio d'Ors.

De ahí que, con la aparición del número ciento de la, a mi ver, perfecta revista, celebraré alborozado los comentarios favorables que sobre su evolución hayan escrito plumas mejor cortadas, al par que ahora me veo obligado a refugiarme, con talante poco airoso, al recato de unos esquic'os fugaces de efemérides vividas en el seno de la Asociación. No ignoro que, de tal guisa, desoigo el prudente consejo del sapientísimo matemático, el extinto Julio Rey Pastor, al decir: "No hables nunca de ti mismo, pues si encaramas tus virtudes, siquiera con moderación, nadie aceptará tus razones, pero si señalas tus defectos, todo el mundo los creerá, exagerándolos a su sabor". Intentaré, al efecto, mostrarme objetivo, sin echar en olvido al perro de Alcibíades. Espero que, de lo propio, sólo se tome en cuenta lo hecho con rectitud, arreo estribado en los mágicos sálmenes de la ironía.

Corría el año 1928 cuando, recién fenecidos, con éxito, los ejercicios de oposición a la cátedra de Construcción arquitectónica II, vacante en la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona, por voto unánime de su Claustro, fui propuesto como Secretario del Centro. El cual andaba no poco postergado en los Presupuestos del Estado. Creí que, para salir del atolladero, era preciso plantear sin ambages el problema al Ministerio, ofreciéndole a la vez una solución viable. En pos del empeño hice frecuentes estadías en la capital, durante las cuales oí a mis colegas y, sobre todo, al eminente profesor Modesto López Otero, dedicar encendidos encomios a un joven catedrático de la Escuela de Caminos, Eduardo Torroja Miret, cuyas andanzas conocía ya, a través de su hermano Antonio, mi caro

maestro. Las obras de don Eduardo eran muy estimadas por los arquitectos, porque en ellas trascendían los valores de la concepción formal que nos permiten comprender las posibilidades líricas de la Arquitectura.

A la sazón se elogiaba con insistencia el acueducto de Tempul, levantado el año 1926, en Jerez de la Frontera, para cruzar el cauce del Guadalete, donde Torroja había aplicado la teoría del postesado mucho antes de los trabajos de Dischinger y Finsterwalder. Harto sabido es que los apoyos sostenían dos ménsulas atirantadas con cables de acero de fácil maniobra (transporte en carretes y desarrollo en hormiguillo). El torcido helicoidal provocó un alargamiento inicial de los cables, que se tesaron con gatos de 60 toneladas, alojados en huecos debajo de las esquinas de los pórticos de las pilas, que se hormigonaron luego de conseguido el descimbre y completadas la retracción y la deformación lenta del mazacote.

En 1934, Torroja y Aguirre fundan el Instituto de la Construcción y, al poco tiempo, ya ensayan, con modelo a tamaño natural, el tipo de bóveda conoide ideado para resolver el audaz voladizo del Hipódromo de la Zarzuela. A todo hijo de vecino consta que, al auge del Instituto, por entero consagró don Eduardo las horas de su asendereado vivir, razón por la cual, *ad perpetuam rei memoriam*, lleva hoy su rútilo nombre de sabio y cristiano hidalgo, dechado de sencillez, que es la sal de la perfección.

Decentado que fue el año 46, hallábame metido hasta las cejas en la redacción de un trabajo de turno para la Real Academia de Ciencias y Artes de mi ciudad natal, en el que pretendía explanar el estudio de la coacción elástica en estructuras de hormigón armado, a base del tesado previo de la armadura de acero, para conseguir la eliminación de tracciones y, por ende, de grietas en la masa del garujo. Pretendí averiguar lo que, en nuestra patria, se había llevado a cabo sobre el conocido por el nombre de *hormigón pretensado*. Y acudí, ¿cómo no?, a Torroja, quien tuvo la deferencia de hacer llegar a mis manos un número de la *Revista de Obras Públicas*, dedicado a puentes, donde se publicaba un artículo suyo acerca de la susodicha obra en Tempul y del acueducto construido en 1939 sobre el río Salado, en Alloz (Navarra), cuyas características han tomado de coro los mentideros del mundillo ingenieril. Unas patas en tijera, cual diafragma rígido, prestan apoyo a láminas en mediacaña parabólica. Para que la superficie mojada sufra sólo compresiones, la estructura va organizada como viga con dos brazos mensulares, cuyo vuelo es la mitad de la luz. La tracción máxima en las pilas se contrarresta por tesado previo, con gatos de camión de 10 t, de cables alojados en los andenes que forman las cabezas superiores. Por otra parte, don Eduardo me indicó que, acá, como novedad única, podía citarme las viguetas de hormigón pretensado fabricadas por Fernández Conde.

En mi trabajo, allende los datos que aquél me ofreciera, expuse *à parte de vue*, el método inventado por el sudeta Ewald Hoyer, el cual, en aquel entonces, era la samba de moda. El sistema radicaba en armar el nuégado con alambres de acero de fina galga y de resistencia diez veces superior a la del acero comercial, sometidos a tensión previa en banzos, lo cual entrañaba el empleo de un homigón de alto límite elástico y de rápido endurecimiento. Al relajarse, los alambres se contraen, provocando compresión en la masa aledaña, que compensa las tracciones debidas a la sobrecarga, a las oscilaciones de temperatura y a los fenómenos reológicos.

A la caída de tensión se oponen adherencia y rozamiento, los cuales, en alambres de diámetro inferior a 5 mm, no permiten deslizamientos y hacen superfluos los anclajes. Las tensiones principales son sensiblemente horizontales y verticales, de suerte que huelgan los acodillados a cartabón.

Mi memoria académica, en la que también me referí a las soluciones postesadas de Freyssinet (con gatos hidráulicos) y de Magnel (con cables sandwich), se intituló: *El hormigón con cuerdas de piano*. Supongo que les sonará. Plugo mucho a don Eduardo y quizá en esto se halle el germen y la causa de que, el 13 de octubre de 1948, me propusiera, *al dedo*, como miembro numerario del Instituto y, dentro de él, dos años después, fui incorporado a la Comisión española del pretensado.

En dicha época, mis relaciones con Torroja se estrecharon, con motivo de la importante conferencia que, a invitación de la Real Academia antes mentada, dio sobre *Estructuras laminares* y que tuvo feliz remate en una cena de gala, cuyo plato fuerte consistió en lenguados al gratin, cual homenaje a tales estructuras.

A consecuencia de las amistosas parrafadas que echamos entonces para un curso sobre *material cerámico*, en 1952, don Eduardo me incluyó en el *elenco* de disertantes que, en los locales del Instituto en la calle de Velázquez, explicarían el abultado programa. A mí me brindaron la *bóveda tabicada*. Por cierto que al dirigirme a dar la plática me vi testigo mayor de toda excepción de un ensayo somático de resistencia. Al pasar por delante de una obra, en la calle de Alcalá, un peón de mala mano soltó una rasilla que me dio en mitad de la cholla. La prueba no resultó muy brillante para el material cerámico porque se rompió la rasilla.

Ya instalado el Instituto en el maravilloso complejo de Costillares, allí en 1956, reiteré la lección, ampliándola notablemente, para el curso de *Formas resistentes* ofrecido a post-graduados iberoamericanos.

A ruego del presidente de la *Asociación Española del Hormigón Pretensado*, Federico Turell, y de su director, Eduardo Torroja, en 1960, me encargué de organizar, en la ciudad condal, la IV Asamblea general de dicha Asociación, que se celebró con muy numerosa asistencia y en la que se abordó el problema de la fabricación de viguetas pretensadas, acuciante en momentos de haber acaecido lamentables hundimientos por falla de viguetas producidas sin garantía de seguridad por mano de obra irresponsable (viguetas *de alcoba* las llamaron con sorna). Conseguimos que el maestro Torroja siquiera sorteando el ajobo de múltiples obligaciones, se dignara asistir a las deliberaciones y, con su autorizada palabra, intervenir en ellas, entre fervorosas ovaciones de los asambleístas. Resultado de la reunión fue que se aprobaran y se publicaran las normas H.P. 1-60.

Aprovechando su presencia en Barcelona, el egregio maestro fue requerido para hablar de estructuras laminares en el Aula Magna de la Universidad y para visitar la Escuela de Arquitectura, donde fue aclamado con entusiasmo indescriptible por profesores y alumnos. En esta conyuntura, el Claustro de esa Escuela, de consuno con su hermana primogénita de Madrid y con el respaldo de todos los Colegios Oficiales de Arquitectos de España, elevó a la superioridad la propuesta de nombramiento de *arquitecto honorario* a favor del profesor Torroja. Pero, por lo visto, la instancia unánime de los profesionales de arquitectura del Reino, diplomados y en fárfara, debió de morir de risa en una gaveta del Ministerio. Alguien sugirió que era preciso, como cuestión previa, nombrar ingeniero

de caminos a un arquitecto. Cual si se tratara de un canje de prisioneros. La envidia es, acá, cáncer endémico.

La rara coincidencia de pareceres en la calendada Asamblea fue celebrada por sus organizadores en un coloquio de hermandad, sin sospechar que, pocas semanas después, había de ocurrir, sumiéndonos en atroz desconsuelo, el tránsito de aquel hombre excepcional, descollante como el ciprés sobre los arrayanes, capaz de crear, en el país de *tot capita quod sententiae*, un organismo de alta dignidad humana y de señera eficacia científica. El inolvidable prócer me había asignado el cargo de vocal en la Junta de la Asociación y era obvio que había llegado el momento de renunciar a él. Pero el presidente, de acuerdo con los restantes miembros de dicha Junta, con discretas razones, me obligaron a volver del acuerdo.

Al avanzar la edad de peinar canas llegué aún a sentir, en las choquezuelas, punzadas como de pincho de henequén, pródromo de la terrible dolencia de Felipe II, con la que comenzaba a andar en angarillas una realeza que siempre había cabalgado. Rayana la fecha de verme lanzado al que López Otero, zumbón, llamaba el *honorable vertedero de las clases pasivas*, atendí la admonición del Venusiano: *Sumite materiam vestr's aequam viribus*, paralela a nuestra paremia agraria: *A la res vieja, alíviale la reja*, y supliqué ser exonerado de mi cargo. Los compañeros de Junta intentaron de nuevo disuadirme aunque, por fin, cedieron a redopelo. Y agradecido a sus sinceras muestras de aprecio, les reuní en un almuerzo de despedida, donde el anfitrión —¿quién lo pondrá en duda?— pudo lucir sus dotes de arquimagiro en el contenido de la minuta y de refinado catador, al ofrecer una calabriada de su invención, patentada con el alcuño de *teorema de la media* o de los incrementos finitos, porque los sorbos, al principio *muy finitos*, no tardan en alcanzar la tragantada.

El 14 de diciembre de 1965, poco antes de mi paso a catedrático emérito, recibí el nombramiento de Miembro de Honor del Instituto Eduardo Torroja y de la Asociación Española del Hormigón Pretensado, que me abrumó por lo inopinado, conmoviendo mis entretelas.

Aquí cesa el *travelling*, o sea, el cazcalear de la cámara. El *starring* o protagonista saluda y declara que durante el tiempo que Dios disponga que siga flotando aguas abajo, al fluir del río que va a dar en la mar, no dejará de rendirle gracias por haberle concedido gozar del claror de bondad y de entendimiento del equipo de primicerios, con quienes tuvo la honra de colaborar en el organismo que tan envidiable prestigio da a la Nación. La cual, a la postre, no es más que la resultante de los esfuerzos de todos y de cada uno de los españoles.

# N. 100...

**Carlos Fernández Casado**  
**Dr. Ingeniero de Caminos**

Es para mí muy grato celebrar la llegada a centenario de esta Revista, que empezó con el carácter perentorio de "Últimas Noticias", para establecerse en el titular de HORMIGÓN Y ACERO heredado de aquella otra, que también encauzó Eduardo Torroja en los años anteriores a nuestra guerra civil, entonces con la colaboración de Enrique García Reyes y que desde el principio tuvo un nivel internacional.

En su primera época sirvió para informar de lo que se construía fuera, ya que, salvo las excepcionales, en todos los sentidos de la palabra, realizaciones de Torroja en los acueductos de Tempul y de Alloz, aquella antes y ésta después de nuestra guerra, las condiciones de semiautarquía a que estábamos forzados, no nos permitían realizar pretensado, pues no teníamos acero especial y los cementos eran muy deficientes.

Pero el problema se mantenía en vivo, y nuestra Revista contribuía en gran manera a ello, de modo que en cuanto se liberalizó la industria del cemento y se contó con los alambres de acero de 5 mm pudimos empezar con el sistema Barredo, que acababa de poner a punto su titular. Y así surgieron puentes: Almarail, Valdecañas, Tinto, Soto Ribera, etc., viguetas pretensadas y grandes vigas como las del taller de laminación de Avilés, las de las cubiertas de Buñol, Ruzafa, Sueca, etc.

La puesta a punto del hormigón pretensado exigió un esfuerzo personal a nivel de hormigonera de todos los que nos ocupábamos de ello, pues había que extirpar de raíz los vicios adquiridos en la fabricación del

hormigón, y esto repercutió automáticamente en la revitalización del hormigón armado. Las resistencias de los hormigones subieron a límites normales, pudimos empezar a utilizar la probeta cilíndrica, y tanto los ingenieros como los encargados y capataces se convencieron de que con áridos limpios y reduciendo la cantidad de agua a límites compatibles con una buena ejecución mediante vibrado, se puede llegar a  $400 \text{ kg/cm}^2$ , que es lo que pedimos al hormigón para pretensar.

Actualmente hemos llegado a ponernos al día en la construcción de puentes; la aportación al Congreso de Praga y nuestra publicación de obras pretensadas construidas en España lo patentizan. En cambio, tenemos que hacer un esfuerzo en las obras de edificación, donde la aplicación en gran escala tropezó siempre con dificultades. Todavía quedan ingenieros y arquitectos que tienen un criterio peregrino al considerar este material; oyeron algo hace ya tiempo y les quedó un recuerdo de que las obras están emplazadas, que a cada una le llegará su hora previamente marcada, o bien, les pasará lo que a los forzudos de circo, que de tanto esforzarse llegan a reventar un día. También hay quien tiene opiniones arraigadas muy particulares, como, por ejemplo, la de que el hormigón pretensado no sirve para puentes de ferrocarril.

Así, pues, creo que el papel de nuestra Revista es doble: terminar de llevar al ánimo de todos los técnicos la confianza en esta Técnica, ya en sus treinta y cinco años de edad, e ilustrar de lo que se está haciendo, pero ahora no sólo en el extranjero, sino también en nuestro propio país.

Por último, no puedo por menos de hacer constar mi voto de confianza y agradecimiento a nuestro Secretario, quien ha contribuido más que nadie a que la Revista llegue a centenario, y animarle a que continúe en su labor de empujar no sólo la marcha de la Revista, sino también a los que debemos colaborar.

# hormigón pretensado, técnica para la arquitectura

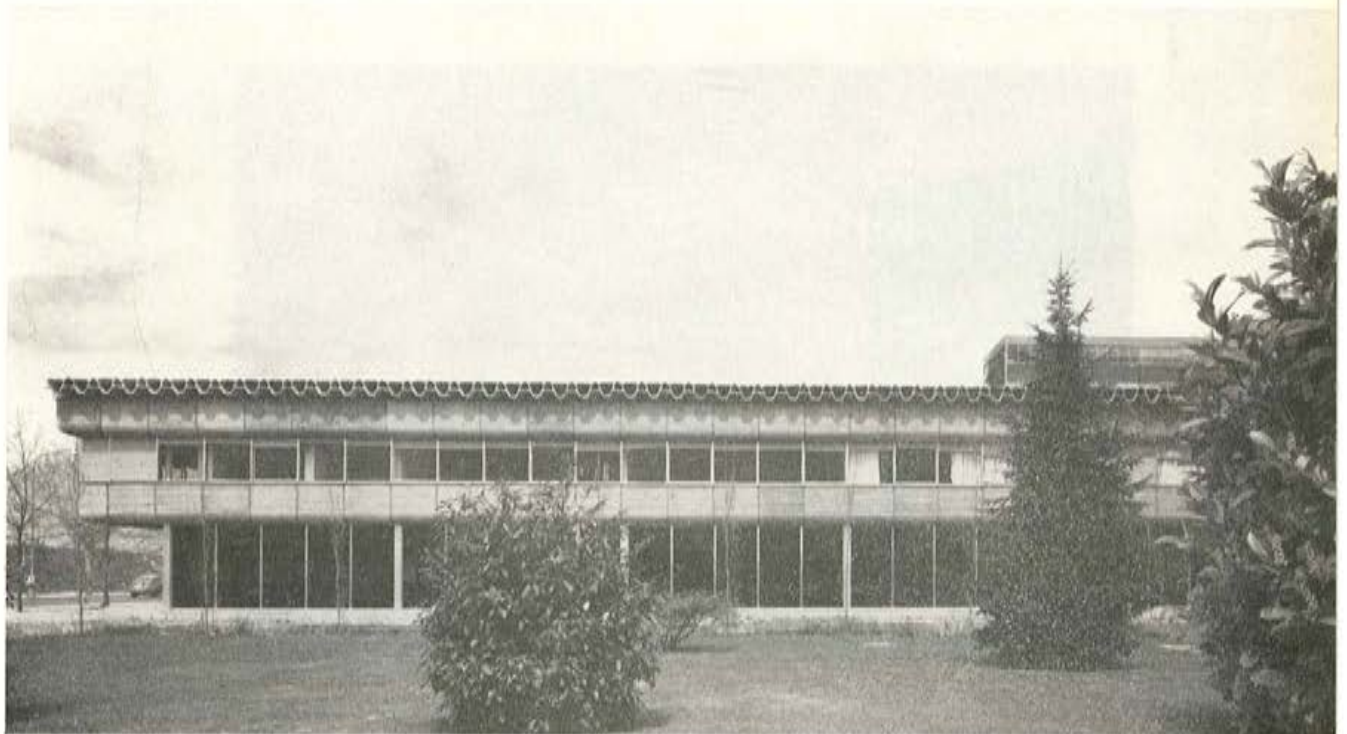
**M. FISAC**  
**Dr. Arquitecto**

La invención de precomprimir el hormigón ha seguido una génesis muy lógica y análoga a la de otros muchos inventos técnicos de los últimos años.

Los especialistas de mayor competencia mundial en los secretos del cálculo estructural, manejaban una serie de factores profundamente conocidos por ellos, e insensiblemente se iban aislando y dibujando unas propiedades y unas metas que habían de terminar en una declaración explícita y concreta del hallazgo.

Prueba clara de esta situación, que podríamos llamar ambiental, es la de que existen, años antes de que llegue a inventarse el hormigón pretensado, soluciones intuitivas que ya comienzan, en cierta forma, a comprimir el hormigón antes de someterlo a las tensiones de trabajo. Tal es el caso, que conozco, del acueducto de Tempul, de don Eduardo Torroja; que tal vez no sea caso único.

Centro de Cálculo en la Ciudad Universitaria en Madrid.

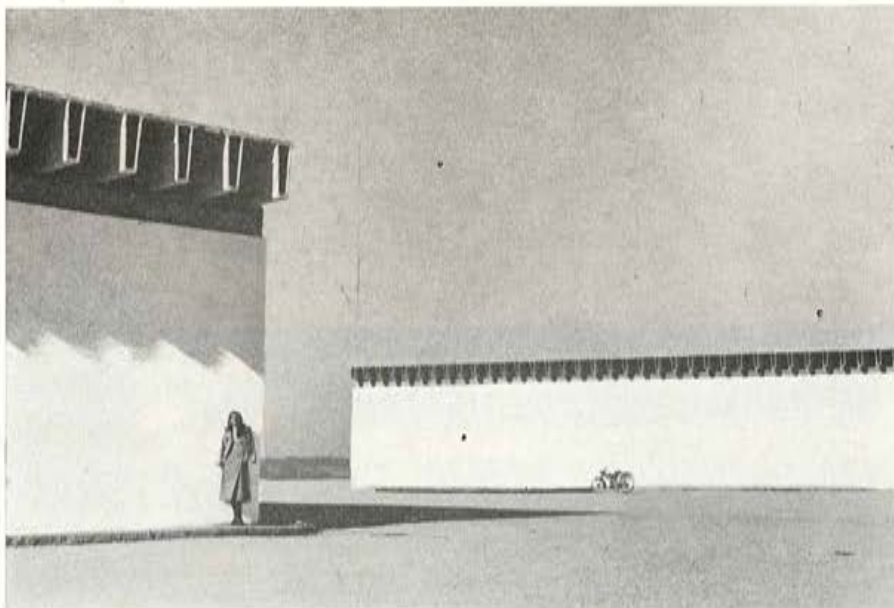
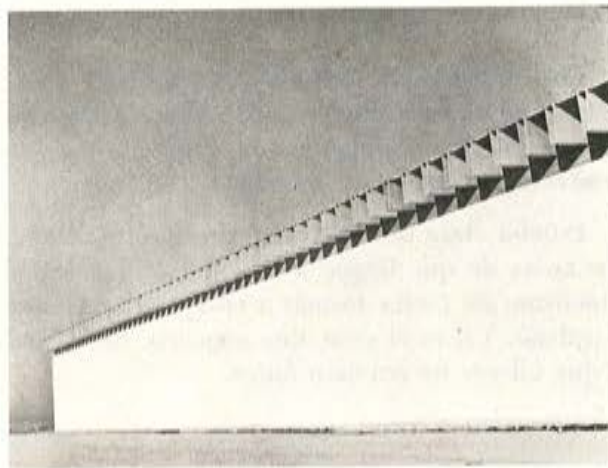


El invento, como puede verse, no surge de la casualidad o como feliz idea fuera de un contexto técnico de máximo rango, sino como años después sería usual: normativamente.

Arquetipo de esta nueva forma de inventar pueden considerarse las tecnologías que, a fecha fija, han puesto un hombre en la Luna.

Siendo así la aparición, evolución, desarrollo y feliz obtención del hormigón pretensado, sin que esto quiera decir que haya sido fácil, ni que pueda por ello regateársele mérito, es natural que por sus notables características tensionales se haya aplicado a resolver los problemas técnicos más difíciles que tiene planteados la ingeniería en sus diferentes ramas de puentes, viaductos, presas, etc.

Para resolver las necesidades de la gran ingeniería de nuestro tiempo se inventó el hormigón pretensado y, lógicamente, a ella se aplica exhaustivamente.



Bodegas Garvey en Jerez de la Frontera.

Las incursiones que esta nueva técnica ha hecho en el campo de la arquitectura, son generalmente esporádicas, como solución técnica llevada a casos concretos por especialistas y sin ningún maridaje con las profundas cuestiones humanas, sociales, estructurales y estéticas de la propia arquitectura.

Hasta cierto punto ha sido un camino análogo al seguido por el acero laminado. Aunque este adquiere pronto en la edificación carta de naturaleza, no llega a cuajar en una auténtica expresividad arquitectónica hasta redescubrirlo Mies van der Rohe; casi un siglo después de estar empleándose rutinariamente.

Analicemos primero aisladamente y después biunívocamente dos realidades que todavía hoy son independientes: los problemas estructurales que de siempre tiene planteados la arquitectura y el nuevo invento técnico que conocemos por hormigón pretensado.



Fábrica Bouman (Vich).

A continuación de la etapa primitiva de guarecerse de la naturaleza hostil, en las cavernas y grietas de las rocas y también de construir, por instinto, chozas cónicas, como los pájaros hacen sus nidos, el hombre inicia la edificación de recintos habitables que habían de terminar en la creación del espacio humanizado que llamamos arquitectura.

Dentro de ese espacio humanizado, el hombre sólo o en grupos más o menos numerosos, ha de estar, no sedentaria e inactivamente quieto, sino que ha de realizar funciones de

muy diversa índole y características, tanto estáticas como dinámicas. El volumen físico de cada hombre, o más bien el de su íntimo entorno, que los sociólogos actuales consideran que viene a ser como una burbuja o fanal que le envuelve, es el generador del espacio arquitectónico y que en esencia obtiene dos planos paralelos, generalmente horizontales, limitados de ordinario verticalmente de forma más libre y circunstancial. Cualquier sección plana de ese espacio, presenta una disposición adintelada, con los consiguientes problemas tensionales de estiramiento, propios de esa forma estructural.

El que los materiales pétreos, de constitución muy estable, tengan una organización molecular no apta para resistir los esfuerzos de tracción y, a su vez, los materiales leñosos, poco estables y putrescibles, estén muy bien conformados, por su estructuración fibrosa, para soportar estos esfuerzos, ha dado origen al permanente deseo de hacer posible la dualidad "durable-traccionable" que la edificación arquitectónica ha tratado, en vano, de conseguir a lo largo de la historia.

Los estilos arquitectónicos que han ido sucediéndose han venido a ser, en síntesis, soluciones del espacio habitable en los que se ha puesto sucesivamente el énfasis estructural en su característica espacial antropomórfica: origen de las soluciones adinteladas y de todo el formalismo arquitectónico que conocemos por clásico, de ascendencia griega, o sobre su característica estructural correcta, de someter los materiales líticos sólo a esfuerzos de compresión: que ha dado origen a todas las soluciones cupuliformes y abovedadas que engendran espacios aprovechables para la arquitectura, pero ni engendradas por el supuesto uso que el hombre ha de hacer de ellas ni, por tanto, a su medida exacta.

El hormigón pretensado, esquemáticamente, puede considerarse que recurre al artificio de comprimir el hormigón que ha de ser sometido posteriormente a efectos tensionales de tracción, de forma que permanezca una parte de la situación primitiva de compresión a pesar de quedar en parte contrarrestada por tracciones aparecidas en la pieza en sus normales condiciones de trabajo. Con lo que se mantiene correcta la íntima estructura del material, característica que hasta la aparición de este procedimiento no se había podido conseguir con materiales pétreos sometidos a tracción en piezas adinteladas.

Y es precisamente por esta circunstancia, que no sólo no había motivado su invención, sino que ni siquiera posteriormente se ha reparado en ella, por la que la tradicionalmente insoluble dualidad "durable-traccionable", clave de los problemas estructurales de la arquitectura de todos los tiempos, ha llegado a tener una correcta solución.

En el mundo actual, en que están en cuarentena tantos dogmas que habían parecido inamovibles, no es extraño — ¡al contrario, es su obligación! — que la arquitectura exprese esta situación personal y social de crisis, tal vez, entre otras muchas cosas, también del sentido de lo durable.

En cualquier caso, el hormigón pretensado es hoy la tecnología más correcta que puede aplicarse a la arquitectura y es de esperar que, antes o después, este material, hasta hace muy pocos años desconocido, imponga una nueva expresividad formal a la plástica arquitectónica.

## **Industrias Albajar, S. A.**

# C I E N . . .

Invitados a efectuar una crítica de la revista de nuestra Asociación, nos encontramos ante el problema de buscar objeciones a una publicación que, por el simple hecho de ser la única especializada en problema tan reciente e interesante como el del hormigón pretensado, ya merece todos los elogios.

Revistas análogas han visto discurrir sus días de publicación en una monotonía que por falta de novedad nos ha hecho caer en el aburrimiento, *HORMIGÓN Y ACERO* es nueva cada día y en cada número y su vitalidad trasciende al lector, que la conserva como un estimado libro de consulta.

Más que "peros" queremos exponer unas ideas que creemos pueden ser del interés general de los asociados de A.T.E.P.

1.º Los avances tecnológicos son tan espectaculares que hacen que los procedimientos de cálculo queden desfasados en poco tiempo. ¿Sería interesante la creación de una sección de ayuda a los asociados a este respecto?

2.º Toda industria necesita de otras auxiliares. ¿Sería posible el conocimiento exacto de las posibilidades tecnológicas en nuestro país aplicado al campo de la prefabricación de piezas pretensadas? Deberían tratarse con suficiente amplitud problemas tales como vibración, curado al vapor, moldes y técnicas de montaje de obra.

3.º ¿Sería posible la distribución, en lugar de la consulta, de las publicaciones enviadas por los distintos países? Creemos que así se facilitarían mucho la labor de investigación de los diferentes fabricantes.

4.º ¿Se podría crear una sección propia de los asociados extendida principalmente a los problemas de fabricación y nuevas técnicas?

5.º Creemos sería interesante el recoger todas aquellas normas de edificación u obras públicas que afectasen a los fabricantes de productos pretensados, tanto en su fabricación como en su puesta en obra.

Resumiendo, creemos que la altura tecnológica que se pretendía alcanzar por la revista, tal y como se comentaba en el artículo editorial que encabezaba el primer número de *HORMIGÓN Y ACERO*, Revista Técnica de la Construcción, de mayo de 1934, ha sido altamente conseguida, pero no debemos olvidar que la Asociación Técnica Española del Pretensado está formada, en su mayoría, por empresas dedicadas a la prefabricación de elementos pretensados y que a ellas sería necesario el llegar no sólo con altos conceptos técnicos, sino con ayuda eficaz a través de una dirección especializada, en la que se recogieran todas aquellas técnicas menos elevadas, pero sí más prácticas desde el punto de vista de la prefabricación industrial.

Nos permitimos felicitar a *HORMIGÓN Y ACERO* por esta mayoría de edad alcanzada con su número 100 y deseamos que ese ininterrumpido hacer desde sus comienzos tenga su continuidad en tiempos futuros.

# **Manuel de la Torre y Rousseau**

**Dr. Ingeniero Industrial  
de I. N. H. O. R., S. A.**

## NOTAS RETROSPECTIVAS EN EL NUMERO 100 DE NUESTRA REVISTA

Corre el año 1949 y empieza a sentirse en España, dentro de sus medios técnicos y científicos, verdadera curiosidad e inquietud por unos sistemas de hormigón precomprimido que, si bien son relativamente nuevos para nosotros, ya vienen utilizándose desde hace tiempo en otros países y que suponen una verdadera revolución en los conceptos clásicos de cálculo y dimensionamiento utilizados hasta la fecha, así como en la elasticidad y comportamiento a la tracción de los hormigones producidos.

Donde esta técnica aparece más desarrollada es, casi seguro, en Francia y Bélgica, por ser de dichos países los profesores Freyssinet y Magnel, principales investigadores del sistema, si bien tampoco son despreciables las aportaciones de científicos eminentes, como Hoyer, Doehring, Dischinger y otros, que han ido consiguiendo perfeccionamientos continuados en la referida técnica.

Aun cuando de todos son conocidos los antecedentes históricos del hormigón pretensado, no estará de más recordar que, hacia el año 1920, Vianini asegura haber hecho experiencias sobre el particular, y que, generalmente, es admitido fue Koenen el primero a quien se le ocurrió la idea del pretensado, queriendo evitar por este procedimiento, el año 1907, la aparición de grietas en determinadas obras de hormigón. Todo lo anterior puede considerarse como meras tentativas que adolecían del mismo defecto: la falta de resultados prácticos; y es por fin Freyssinet quien consigue, años más tarde, métodos y sistemas de tipo práctico que, durante muchos años, son considerados como los únicos y más perfectos, logrando la realización de obra tan espectacular como el grandioso puente de Plougastel que en cada uno de sus tres tramos presenta una luz de 180 m.

En España, con carácter general, la técnica es casi desconocida, si bien ya existe una Empresa que explota con éxito las patentes de Freyssinet, y otra que está iniciando sus estudios y actividades a base de procedimientos y patentes totalmente españolas. El entonces Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, del cual era Director don Eduardo Torroja Miret, participa, como es lógico, de la inquietud general, y reuniendo dentro del mismo a un grupo de entusiastas colaboradores, ya que en aquella fecha parece prematuro hablar de especialistas, se propone crear la primera Asociación que investigue, promueva y conecte con otros países, todo cuanto se refiera a dicho sistema. El día 13 de junio del referido año se constituye por fin dicha Asociación, y se nombra Presidente de la misma al que lo era por entonces del Instituto, D. Federico Turell.

Inmediatamente, sus componentes sienten la necesidad de tener un órgano de expresión que sea no sólo portavoz de cuantos trabajos e investigaciones realicen, sino también y muy principalmente, un medio informativo que haga llegar a los asociados y a cuantas personas se interesen por la técnica del Pretensado todo lo que sobre el mismo se estudie, realice y publique en cualquier parte del mundo. Poniendo manos a la obra, en los comienzos del año 1950, se lanza el primer número de nuestra Revista, denominada "Últimos avances del hormigón pretensado", que, en su editorial, dice lo siguiente: "El Insti-

tuto Técnico de la Construcción y del Cemento, a propuesta de la Asociación Española del Hormigón Pretensado, sin perjuicio de seguir como hasta el presente insertando en su revista *Informes de la Construcción* temas de divulgación sobre este último material, ha considerado oportuno iniciar la publicación mensual de estas "Últimas Noticias", en cuyas páginas, los interesados podrán encontrar al lado de una exposición clara de los sistemas fundamentales y su aplicación al cálculo de estructuras, resúmenes y traducciones de los más recientes artículos aparecidos en todas las revistas extranjeras que, de una manera u otra, se relacionan con esta cuestión, con el fin de facilitar su consulta al presentarlos reunidos y poner al alcance de todos cuantas novedades sobre el particular vayan surgiendo."

"Se intenta contribuir así a la indispensable formación de especialistas en esta materia, con conocimientos completamente al día en cuanto a métodos de fabricación y aplicaciones del hormigón pretensado se refiere."

Han pasado, por tanto, veintidós años, en el transcurso de los cuales resulta no difícil, sino imposible enumerar los trabajos y el esfuerzo que se han realizado, tanto dentro de la Asociación como de la Revista, para canalizar y difundir lo mucho que se ha hecho en todas partes sobre Hormigón Pretensado y muy principalmente en España, donde esta técnica se encuentra actualmente al nivel de cualquiera de los países más adelantados.

La Revista nos ha servido a todos no sólo de enseñanza, sino también de medio de comunicación sistemático, y su colección constituye hoy una formidable base histórica y de consulta para cuantos a esta técnica nos dedicamos. Al encargarme estas líneas se me rogó que expusiera con toda franqueza cuantas deficiencias se hubieran podido apreciar en el transcurso de todo este tiempo. Deficiencias, ninguna; aciertos y éxitos muchísimos, y la información que periódicamente nos llega respecto al Hormigón Pretensado es una de las más completas que pueden ofrecerse desde las revistas que de este tipo se vienen publicando en los diferentes países.

Es para mí obligado, como prueba de profundo afecto y respeto, recordar en estas líneas y con motivo del número Cien de nuestra Revista al inolvidable amigo y gran maestro D. Eduardo Torroja, de quien tanto aprendimos todos y quien tanto hizo por el Hormigón Pretensado, no sólo en España, sino internacionalmente, a través de sus múltiples trabajos y de la Presidencia de la F.I.P., que le fue otorgada en el Congreso de Berlín de 1958, y ostentando la cual le sorprendió la muerte en 1961.

También considero obligado destacar la callada, constante y profunda labor de cuantos compartieron con él, no sólo en la Asociación y en la Revista, sino dentro del propio Instituto, sus numerosos trabajos, algunos de los cuales, y al cabo de tantos años, siguen laborando todavía con el mismo tesón.

Los que conocimos el nacimiento de la Asociación Española del Hormigón Pretensado y de su revista *Últimos avances*. Los que tratamos al Profesor Torroja, colaborando modestamente desde las "Primeras Jornadas de Estudio del Pretensado" celebradas en París en octubre de 1950. Los que tuvimos el honor de acompañarle en la creación de la F.I.P. y en la celebración de su primer Congreso en Londres el año 1953. Los que por caminar con buen paso de andadura vemos difícil asistir a la conmemoración del segundo Centenario de nuestra Revista. Los que, en fin, tanto cariño y esfuerzo hemos entregado a esta técnica tenemos la satisfacción de mirar tranquilos al futuro, por las formidables generaciones de técnicos capaces de mejorar cuanto hicimos, que nos vienen sucediendo y en cuyas manos queda con plena garantía el porvenir del Hormigón Pretensado en nuestro país.

**Antonio Moreno López**  
**Secretaría General Técnica**  
**Gabinete de Organización y Normas Técnicas**

## ORDENACION DE LA INFORMACION SOBRE PRETENSADO

La revista HORMIGÓN Y ACERO cumple el papel fundamental de divulgación y, consecuentemente, de promoción indirecta de obras ejecutadas con hormigones pretensados.

Su contenido, repartido principalmente en las dos vertientes de análisis de realizaciones físicas de construcciones y de estudios generales o específicos sobre el hormigón pretensado, proporciona el par de andadores que pueden animar a los reacios a proyectar con estos hormigones altamente aprovechados.

La calidad de los artículos que publica la revista merecería el máximo aprovechamiento de los mismos mediante una ordenación adecuada de la información proporcionada.

A tal efecto, sería interesante estudiar la inclusión, en cada publicación, de un conjunto de fichas de tamaño normalizado que resumiesen el contenido de cada artículo y fuesen fácilmente separables y estuviesen preparadas para ser incluidas sistemáticamente en ficheros.

Dada la variación de temas que suelen surgir en cada artículo, habría que inclinarse por un sistema de ordenación de múltiple entrada, y de éstos posiblemente el de palabras clave, auxiliado con un adecuado "Tesaurus", sería el más indicado.

En consecuencia, podría constituirse un primer depósito de términos relacionados con el hormigón pretensado que sirviese de "Tesaurus", y que se iría enriqueciendo paulatinamente con la aportación de nuevas palabras-clave.

Las fichas publicadas podrían quedar definidas por un número de orden y por un grupo de palabras clave que hiciese referencia a los temas expuestos en el artículo correspondiente.

Otras fichas auxiliares, correspondiendo cada una a una sola palabra clave y con capacidad para recoger los números de orden de las fichas principales correspondientes, completarían el equipo instrumental de ordenación de la información.

En resumen puede decirse que la preparación de un orden de rápida y eficaz referencia a la información de pretensado, proporcionada por la revista HORMIGÓN Y ACERO, ofrecería ventajas a los proyectistas y constructores en hormigón pretensado, principalmente a aquellos que sólo abordan este tipo de trabajos esporádicamente.

## **Pedro Jiménez Montoya**

### **Dr. Ingeniero de Construcción**

Aprovecho gustoso, al mismo tiempo que agradezco a la Asociación Técnica Española del Pretensado, la oportunidad que me da para hacer algunos comentarios sobre la presentación y contenido de la Revista HORMIGÓN Y ACERO.

Como miembro de la Asociación, he podido seguir la evolución de esta publicación desde sus orígenes. Aquel boletín mecanografiado que inició el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento a propuesta de la Asociación, en el que se recogían, de acuerdo con su primitivo título, las últimas noticias de hormigón pretensado cuando aún en España, dadas las circunstancias de escasez de materiales idóneos, hacían económicamente prohibitiva la realización de obras pretensadas, se ha convertido en la importante y bien presentada revista que ahora nos llega.

Fue, sin duda, una visión clara que tuvo la entonces llamada Asociación Española del Hormigón Pretensado sobre el porvenir de estas técnicas, puesto que se han cumplido las previsiones que se anunciaban en el artículo editorial del primer número de su Boletín. Las dificultades temporales que entonces existían en nuestro país no tardaron en superarse y ha llegado el momento en que el sistema de hormigón pretensado está reemplazando, en gran parte, en las obras, al hormigón armado, tal como allí se predecía.

Creo sinceramente que gracias a esta publicación, la Asociación Técnica Española del Pretensado logró, cumplidamente, el fin que se proponía. Ha puesto al alcance de los lectores una exposición clara de los sistemas y su aplicación al cálculo de estructuras, así como cuantas novedades sobre el particular iban surgiendo, mediante resúmenes y traducciones de los artículos que aparecían en distintas revistas extranjeras. Con ello ha contribuido a la formación de técnicos especialistas convenientemente preparados y familiarizados con las peculiares características del pretensado, que más tarde han hecho posibles las realizaciones en España.

A mediados del año 1964, el "Boletín de últimas noticias técnicas en estructuras de hormigón pretensado" se transforma en la actual revista HORMIGÓN Y ACERO. Es una decisión acertada, que adopta la Comisión Permanente de la Asociación, al ampliar el contenido del Boletín y convertirlo en verdadera Revista, donde tiene cabida, no sólo la técnica específica del hormigón pretensado, sino, en general, todo problema teórico relacionado con la tecnología de las estructuras.

La información sobre la técnica y práctica en esta materia que la nueva publicación nos facilita contribuye, sin lugar a duda, al progreso de nuestro país dentro del campo específico de esta rama de la Construcción. En definitiva, encuentro HORMIGÓN Y ACERO como una Revista perfectamente orientada hacia el fin que persigue la actual Asociación Técnica Española del Pretensado, de acuerdo con sus estatutos.

Aparte de los interesantes artículos originales de conocidos especialistas que publica, ha sido un gran acierto, por parte de la redacción de la Revista, recoger cuantas actividades y novedades de carácter internacional se producen en el campo del hormigón, dando a conocer, a los asociados y lectores, los temas y recomendaciones discutidas y elaboradas por la Federación Internacional del Pretensado y el Comité Europeo del Hormigón.

También merece destacarse el valioso auxiliar de trabajo que supone esta Revista para el ingeniero proyectista. Este puede encontrar en HORMIGÓN Y ACERO el material preciso para realizar sus cálculos de hormigón pretensado, así como los detalles de las principales obras realizadas en todo el mundo, lo que constituye una valiosa colección de ejemplos de gran utilidad para adaptar el diseño de su proyecto a los estilos y técnicas más modernas.

La bibliografía, tanto española como extranjera, que facilita la Revista, las comunicaciones de Congresos nacionales e internacionales que publica, las normas de hormigón pretensado redactadas en distintos países europeos y americanos, que da a conocer, son una fuente de información de incommensurable valor que hemos de agradecer todos los asociados y lectores a aquellos que, con gran espíritu y entusiasmo, han conseguido hacer evolucionar esta publicación hasta lograr el nivel de presentación y contenido con que aparece el número 100 de HORMIGÓN Y ACERO.

**Eduardo Tegido Nogués**  
**Manuel M. Raspall Martín**  
de S. A. E. BBR

La revista HORMIGÓN Y ACERO cubre sobradamente la necesidad de informar a todos los que nos movemos en el campo del hormigón pretensado sobre las últimas novedades que sobre esta técnica se producen en el mundo.

Por su contenido está en línea con las mejores revistas europeas de su estilo y su cuidada presentación no hace sino reflejar las cualidades que en todo momento han sido norma y orgullo, primero, de la Asociación Española del Hormigón Pretensado y ahora de su sucesora, la Asociación Técnica Española del Pretensado.

Tal vez su interés es lo que nos hace lamentar que su frecuencia sea trimestral y no mensual como en los primeros años. Comprendemos las dificultades y problemas que su edición reporta a la A.T.E.P., pero les animamos a resolverlos y recabamos la ayuda de todos los asociados para conseguir que nuestra revista la podamos volver a leer todos los meses.

Con ocasión de este número 100 deseamos patentizar nuestra felicitación al Comité de Redacción y a todos cuantos contribuyen a que HORMIGÓN Y ACERO sea un éxito y expresamos nuestros mejores deseos por la continuidad futura en la misma tónica actual.

**Antonio Puerta García**  
de DOMO, S. A.

Cien números de la revista HORMIGÓN Y ACERO representan, para los que surgimos a la vida activa de la construcción aprendiendo los rudimentos del hormigón pretensado en aquellos artículos iniciales de los inolvidables *Ultimos avances*, de la mano de sus fundadores y de otros que nos iniciaron en este camino, toda una vida, llena de pequeños pasos adelante que mes a mes, o número a número, nos corregían los vicios propios de los casi autodidactas, y que nos ha permitido formarnos hoy día una filosofía del material y de sus aplicaciones que nos es de más utilidad que todas las teorías exactas, expuestas en los más perfectos métodos didácticos.

¿Cómo nos gustaría que fuese la revista?, ya casi añoro aquellos primeros números impresos en ciclostil, guardados todavía en el anaquel privilegiado al que hay que asociar tantos recuerdos.

Pero, para ser concreto, preferiría que abundase en casos prácticos, con los máximos detalles constructivos y buenos dibujos que sean aprovechables para el proyectista. Por lo demás, la orientación actual, en general, me parece bien, y pido a Dios que todos veamos los otros cien números siguientes.

## **Vicente Peiró Fayos** **de V. Peiró, S. A.**

Quisiera, con estas líneas, atender a la petición de la Asociación Técnica Española del Pretensado de que exprese en nuestra revista HORMIGÓN Y ACERO, coincidiendo con el número 100, mi opinión y sugerencias sobre su contenido.

Con buen deseo y espíritu he pasado varias horas relejendo los números publicados o, mejor dicho, remirándolos, y cuanto más avanzaba en esa labor más se me iba confirmando la buena opinión que desde siempre he tenido de la revista y su buena evolución; más aún, recordando que siempre la espero con impaciencia y pensando que es muy largo el tiempo entre sus números.

Por lo tanto, pensando de este modo, ¿qué puedo decir? Si los rectores de nuestra Asociación y del insigne Instituto Eduardo Torroja trabajan en armonía y no ven defecto y no la mejoran, es que pienso que les parece, como a mí, que es buena su marcha y su contenido nos satisface.

## **José A. López Jamar** **Ingeniero de Caminos**

La revista HORMIGÓN Y ACERO es, en mi opinión, de una gran utilidad a los ingenieros y arquitectos proyectistas y constructores, ya que les ayuda a estar al día en todos los avances que constantemente se producen en la técnica teórica y en las aplicaciones de la tecnología.

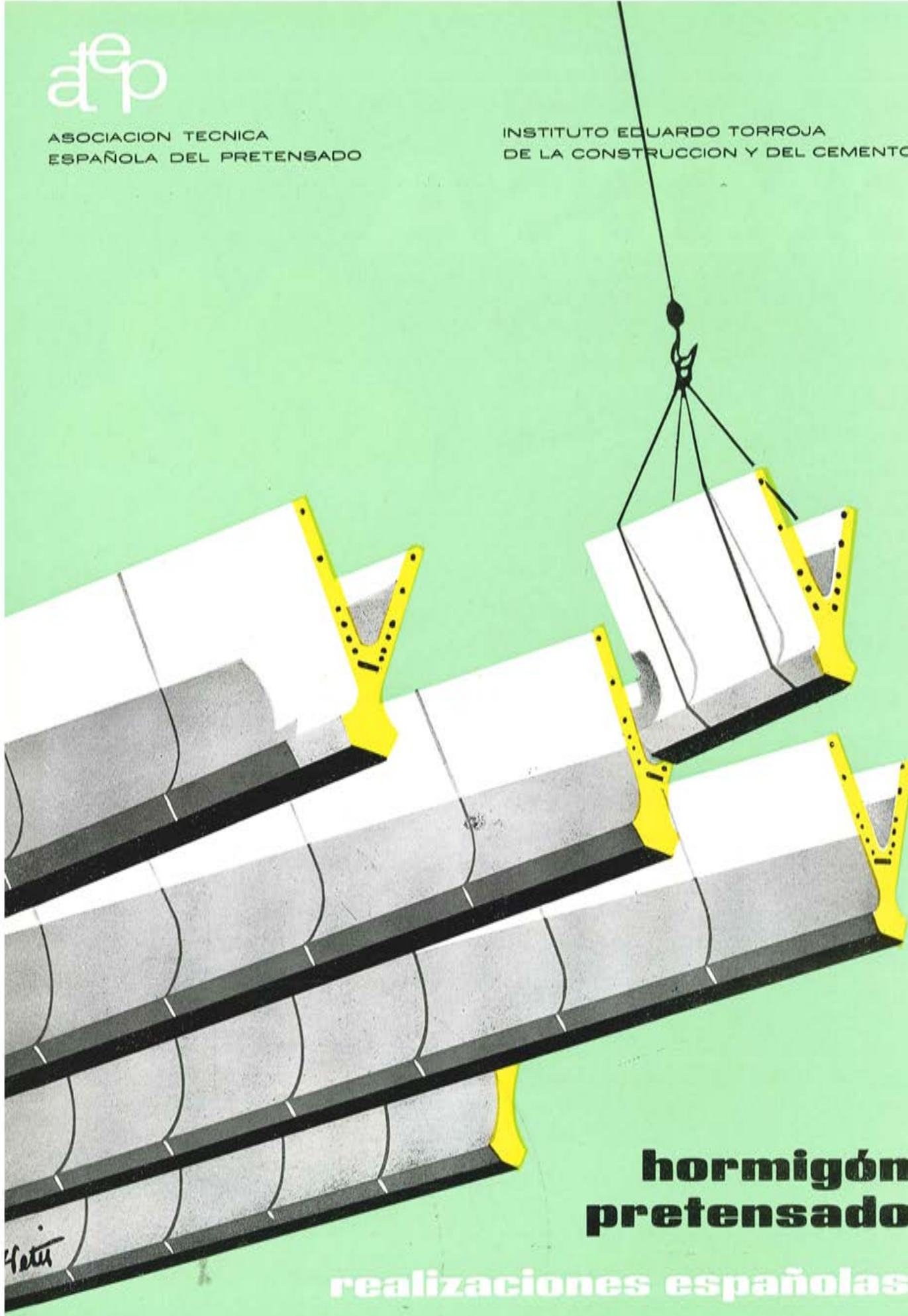
A mi juicio, sería de gran utilidad la publicación, con la ayuda de las empresas comerciales e industriales, de unas hojas archivables con los tipos más usuales y comerciales de los elementos de obra (anclajes, cables, aceros corrugados, perfiles metálicos, etcétera) y medios auxiliares diversos, con sus dimensiones, gálibos de uso, potencia, etc., todo ello mantenido al día con los nuevos modelos. De estas hojas nos beneficiaríamos todos.

Y la crítica que puede hacerse no corresponde a la revista, sino más bien a los ingenieros, proyectistas, constructores y a las empresas auxiliares, siderúrgicas, etc. Todos podríamos ayudar a la revista si nos propusiésemos colaborar en alguna forma con ella.

atp

ASOCIACION TECNICA  
ESPAÑOLA DEL PRETENSADO

INSTITUTO EDUARDO TORROJA  
DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO



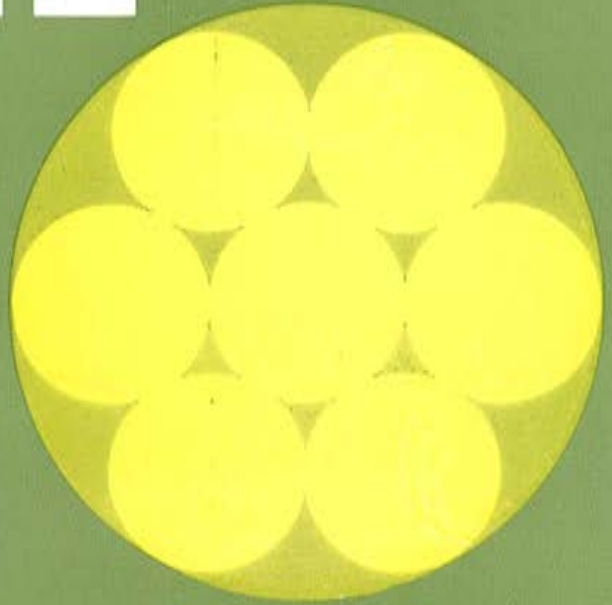
**hormigón  
pretensado**

**realizaciones españolas**

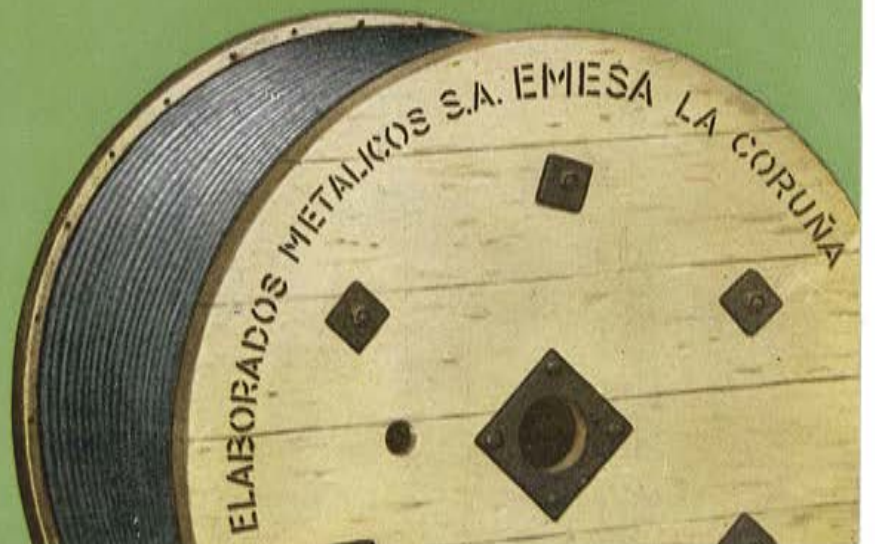
Hata

CABLES DE ACERO PARA  
HORMIGON "POSTENSADO"

**EMESA**



STRESS-RELIEVED STRAND FOR  
PRESTRESSED CONCRETE



# **simposio sobre viaductos urbanos**

591 - 2 - 44

## **introducción al tema**

**C. FERNANDEZ CASADO**

Me toca introducir a ustedes en este "Simposio sobre viaductos urbanos". Considerando que la mejor manera de introducir es justificar, voy a hacerlo con título, tema e intenciones.

Respecto del título podría subtitularse: Urbanidad de los viaductos urbanos. El tema quedó fijado en las reuniones de Valencia del curso pasado. Me parece que fue López Jamar quien propuso, no conferencias sueltas sino trabajo en equipo, donde se comprobara que los ingenieros hispánicos podíamos discutir en armonía sobre un tema vivo. (Esta es la primera de las intenciones de que hablábamos.)

Yo propuse el tema de los viaductos urbanos, donde confluyen estructuras metálicas de hormigón y mixtas. Lo hemos limitado a pasos superiores dejando aparte los inferiores que son también interesantes, pero distintos. Los superiores dan materia homogénea y amplia para discutir durante dos tardes y sacar experiencia de todo lo realizado hasta ahora con vistas al futuro. (Esta es la segunda intención.)

El viaducto urbano es el tipo más reciente en la evolución de los puentes, que se inventaron para salvar los ríos; después vinieron los viaductos para salvar cualquier obstáculo topográfico, ampliándose esta necesidad al cruce de las circulaciones viales, primero ferroviarias y últimamente las que se entrecruzan en la ciudad.

Naturalmente que siempre ha habido puentes en las ciudades, e incluso las han precedido en algunos casos. También aparecieron, a su tiempo, los viaductos; tenemos el de nuestra ciudad, el de Alcoy, el de Teruel, el de Luxemburgo, etc. La llegada del ferrocarril a la ciudad o bien la absorción por esta de la vía férrea de penetración, determinó la aparición de los pasos a distinto nivel (los pasos a nivel suenan a ferroviarios).

Tenemos, por último, los pasos a desnivel por entrecruzamiento del propio tráfico. Los sistemas de tráfico dan siempre redes, enrejados que aprisionan, por eso, al plantearse por primera vez el problema de la descongestión se pensó en una red independiente, elevada o subterránea. Londres elige la subterránea, "Underground system", que comienza a desarrollarse en 1863; en cambio, Nueva York empieza con sus elevados en 1865, no acometiendo su red subterránea hasta 1875, aunque la Metropolitan Railways Corp., que le dio nombre, se había constituido diez años antes. Creemos que a excepción de Chicago que siguió a Nueva York en 1890, todas las demás ciudades adoptaron red subterránea; y el tiempo les ha dado la razón, pues los horribles "elevated" de Chicago y de Nueva York desaparecieron hace pocos años, mientras que los metropolitanos están en continua expansión.

La segunda ocasión en que se plantea el problema de insuficiencia de red viaria en las ciudades es setenta años después y no se piensa de un modo tan radical, sino solo en mejorar la red existente para el tráfico automóvil, especializando circuitos para circular sin cruces a nivel. Se trata, pues, de un expediente forzado y forzoso: salvar de la congestión por la instauración de una red arterial fluida, y tener la posibilidad de desalojar rápidamente la ciudad.

Nueva York empieza en 1935 estableciendo los "parkways" (denominados así porque utilizan los islotes sin edificar que correspondían a los parques internos y litorales), que enlazan circuitos de salida de Manhattan hacia el sur. París, mucho más tarde, en 1948, inicia su *route de desserte* por debajo del parque de St. Cloud, vía de escape hacia el oeste. Bruselas prepara para la Expo 1958, su Boulevard de la Petite Ceinture. Estocolmo, ya antes de nuestra guerra había anunciado un concurso internacional para resolver, a distinto nivel, los problemas de circulación de una de sus plazas céntricas. Esta nueva visión del problema supone, desde el punto de vista del tráfico, especializar unos circuitos dentro de la misma red o con ligeras variaciones, formando una retícula de malla más amplia que envuelve islas de circulación más lenta. Si la ciudad ha crecido por expansión desde un centro tendremos arterias radiales y cinturones concéntricos; el interno debe defender del tráfico el centro de la ciudad. Salvación de la congestión del sistema circulatorio por instauración lo menos quirúrgica posible de una red arterial.

Hasta la última etapa que acabamos de describir, los puentes de la ciudad no pueden llamarse urbanos. Aparte de que no habían surgido por cuestiones específicamente urbanas, la mayoría de ellos, por el contrario, eran antiurbanos. Los de la nueva etapa para salvar los nudos con cruces a distinto nivel, han dado lugar a un cambio de actitud del ingeniero estructural con respecto a su obra, al tener en cuenta al usuario, tanto viandante como conductor. Cuando yo estudiaba puentes —va para medio siglo— el profesor de la asignatura, ingeniero ilustre, se lamentaba de que los puentes, en la mayoría de los casos, solo los veía el peón caminero encargado del servicio de la carretera. En cambio, los pasos viales y con mayor motivo el puente urbano, incrustado forzosamente en la ciudad, nos obliga a pasar por debajo de él, junto a él y en el mejor de los casos por encima de él. Se encara con nosotros y no hay más remedio que sufrirle, incluyendo en ello a los vecinos de los primeros pisos de su calle.

A este ver de los innumerables ojos, por principio hostiles, pues les han perturbado por lo menos sus perspectivas urbanas, se impone un intenso prever del ingeniero que proyecta. Pero este ver anticipado es precisamente lo esencial del proyecto (esfuerzo de imaginación), el diseño, esto es, trazar rayas, muchas rayas, antes de cuantificar nada mediante el cálculo; rayas que no se trazan a capricho, sino que son descarga de imágenes que lleva-

mos en la mente: mejorando puentes que hemos proyectado anteriormente; otras procedentes de puentes que nos han impresionado al verlos en la realidad, o en libros y revistas; y, naturalmente, las que surgen al entusiasrnarnos con el nuevo problema.

Esta etapa del diseño es primordial, en los dos sentidos de primera y primaria, fundamental; y los ingenieros la habíamos descuidado casi totalmente. En mi época, por ejemplo, al proyectar, los ingenieros estábamos obsesionados por el cálculo, el cálculo material de las estructuras de nuestros proyectos. Al empezar cualquiera de ellos, nuestra gran preocupación era administrar el tiempo para que cupieran los cálculos; nos enfrascábamos en labores puramente algebraicas, verdaderamente aburridas, que cerraban el paso a la imaginación; y no podíamos perfeccionar los detalles.

Esto hizo que nos invadiese el morbo del tedio y de la pedantería del cálculo. Pero lo peor de todo era que al terminar nuestro proyecto, sin ninguna alegría, como ya he dicho, teníamos la aplastante sensación de que estaba poco calculado, lo cual daba gran "suspense" a los descambriamientos y a las pruebas de carga.

Todo esto fue mejorando a medida que las máquinas se fueron introduciendo en nuestro quehacer, y cambió radicalmente cuando aparecieron los ordenadores electrónicos. Estos nos han dado la lección que compete a las máquinas: mostrar lo que no es humano en el hacer del hombre. Las operaciones de cálculo que nos comían el tiempo y que nos carcomían el ánimo al tener que resolver molestos sistemas de ecuaciones, las realizan ahora las máquinas a la perfección, con muchísima mayor rapidez y seguridad; y además hacen cosas mucho más complicadas, que antes no se podían hacer aunque estuvieran teóricamente resueltas. Ya el cálculo no es coacción para el ingeniero y podemos mirar sin odio a las ingenuas integrales e incluso a algunas ecuaciones diferenciales que el ordenador resuelve por subrutinas.

Con el perfeccionamiento de estas máquinas la simbiosis ingeniero-ordenador será cada vez más íntima, y el proceso de proyectar irá adquiriendo mayor eficacia. Al ingeniero, el diseño, para desarrollarlo con toda fruición; y al ordenador, el cálculo sin inventiva. Naturalmente que el cálculo tiene su inventiva; la preparación de los procesos matemático-físicos primero, y su coordinación hacia el ordenador después. "El libro de la naturaleza está escrito en caracteres matemáticos". Sigue siendo válido este enunciado de Galileo, pero el ingeniero, además de leer en este libro, tiene que escribir, o mejor, modelar en vivo; ha de enfrentarse directamente con los fenómenos físicos y hacer su teoría de estructuras resistentes. Esto lo exigirá cada vez con más urgencia el propio ordenador; encauzar Física en Matemáticas, es decir manejar símbolos matemáticos, pero con contenido físico.

Volviendo a nuestros puentes urbanos y poniéndonos en la actitud del ingeniero que los proyecta, las cosas son claras: no puede perder la ocasión que se le presenta. Yo digo en clase exagerando, mejor dicho, distorsionando las cosas por eficacia didáctica, que el puente es un autorretrato en escultura abstracta; y en nuestro caso concreto le dan además al ingeniero una calle o plaza pública para exponerlo. Ocasión excepcional para ponerse a prueba; fórmula, exprimirse la mollera y poner sus cinco sentidos como antes se decía. No todos los sentidos se ponen en marcha, pero como al presente son más de cinco, según la Psicología, y entre todas las artes es la arquitectura y especialmente la arquitectura del ingeniero la que más sentidos ejercita, resulta ser el número consabido: vista, tacto, equilibrio, kinestesia y cenestesia, y todos ellos coordinados en inteligencia sentiente, según diría nuestro filósofo X. Zubiri. Ya hemos hablado del ver a la hora del diseño; pero el tacto

tiene también papel principal para moldear con ayuda de ambos la corporeidad de la obra en máxima sencillez, sobriedad y diafanidad. No es preciso subrayar la importancia que el sentido del equilibrio tiene en la labor del ingeniero estructural, pues toda estructura resistente es equilibrio en tensión, poniendo a prueba los materiales. En este caso concreto de un cruce de direcciones, el sentido kinestésico tiene un gran papel, así como el cenestésico, ya que se trata de solucionar un complejo dinámico que funciona mal, para conseguir la fluencia del tráfico que, en último término, abre correlación con nuestro propio sistema circulatorio, que también a veces funciona mal.

El ingeniero, al encauzar la tensión de su ánimo en el juego de fuerzas naturales que se equilibran en la estructura de la obra, descansa más o menos en ella. Pero esta tensión que serena no es la eventual que corresponde a la ocasión de su proyecto de paso urbano; es mucho más profunda. Corresponde a la tensión del hombre y el mundo donde vive, entre el hombre y su circunstancia, en frase de Ortega. Es el desajuste que corresponde al momento histórico, y yo creo que el que vivimos nos depara uno de sus máximos valores.

Y en esto nos encontramos de acuerdo con nuestros conciudadanos, con los cuales podemos llegar a una compenetración humana a través de la obra. Todo lo que hemos puesto en ella, que ha servido para serenarnos, puede producir el mismo efecto en el que la utilice. El pasar por encima, por debajo o a lo largo, va a formar parte de su vida, en la cual, por tanto, tenemos una posibilidad de intervenir. Esta parte de su vida será mínima y verdaderamente fugaz, y la intervención nuestra pobre e insignificante; pero nos da ocasión a una convivencia de problemas que resulta fundamental destacar, pues por lo pronto exige poner en juego la cortesía, la urbanidad del ingeniero, áspero por profesión.

La obra moldeada por nuestros sentidos, puestos en tensión por nuestra inteligencia sentiente, afectará a los propios sentidos de quienes tienen que padecerla necesariamente; pero este padecer puede convertirse en un disfrutar, aunque mínimo. Y así, en correlación directa, la vista del usuario puede apreciar la sobriedad de líneas, superficies y volúmenes que hemos conseguido; su tacto, la corporeidad modelada para reducir a un mínimo los obstáculos frontales en pilas y dintel; su sentido del equilibrio, el logro de una serenidad esbelta sin atemorizar con el alarde; su kinestesia, la libertad encauzada de movimientos, para el viandante, y la satisfacción de sentirse sumergido en un tráfico que fluye, para el conductor; y, por último, en su cenestesia, tendrá la sensación de vitalidad en alza al encontrarse actuando dentro de algo que funciona bien.

Aunque sea por un momento, si esta imposición del paso podemos convertirla en cierto modo en una invitación, el viandante, acogido por él, defendido del sol y de la lluvia, puede sentir una ráfaga de optimismo que le alivie, poco pero algo, en el tráfigo de la vida.

Pero todo esto que decimos no ha de quedar en los planos, sino que hay que llevarlo a la realidad; construirlo y construirlo bien. El buen proyecto no lo es si no lleva un cierto entusiasmo al que lo construye, para que en la obra las aristas rectas o curvas resulten vivas, los planos y superficies salgan sin garrotes ni coqueras, no destaquen irregulares las juntas de construcción, ni aparezcan filtraciones o resudaciones.

Construir bien puede que sea algo más caro que construir mal; más barato es no construir. Pero en definitiva el paso urbano no admite la incorrección, la inurbanidad. La técnica constructiva es saber hacer bien lo que se construye. Es la misma fórmula que en el proyecto: poner los cinco sentidos, con toda inteligencia, empujados por una voluntad tendente a proyectar bien y a construir bien. Nada más y nada menos.

# enlace a desnivel en la glorieta de Atocha, de Madrid

**J. A. DE LAS HERAS**  
Ingeniero de Caminos

## 1. ANTECEDENTES

Es muy posible que los primeros aforos de tráfico que se efectuaron en Madrid fuesen los que se hicieron en la Glorieta de Atocha a principios de siglo, ya que en esta época esta plaza era objeto de la preocupación municipal. Se puede ver en ellos cómo ya se distinguían los diversos tipos de vehículos que entonces transitaban, tranvías principalmente, carros, caballos y algunos coches.

Posteriormente esta plaza continuó siendo motivo de preocupación, ya que por una parte constituía y constituye, un punto obligado de paso para los vehículos que procedentes del centro de la capital se dirigen hacia el sur y, por otra, la barrera material que la Estación de Atocha con sus vías representa, hace que todos los movimientos sur-oeste-sureste y viceversa, necesariamente hayan de pasar también por este punto. A todo esto hay que añadir el tráfico generado y atraído por la estación.

Por eso, ya hace bastantes años, se pensó en una ordenación de la plaza que esencialmente consistía en lo que hoy día se llama una intersección giratoria, aunque de forma cuadrada, que ocupaba los terrenos de la estación actual, pero que no pudo llevarse a efecto.

Más tarde, y ya próximo a nuestros días, a principios de la década de los sesenta, se inicia una nueva ordenación basada en una intersección también giratoria en el cruce de las calles Claudio Moyano y Atocha y donde actualmente está instalada la fuente luminosa. Esta ordenación es, en principio, suficiente desde el punto de vista de la capacidad, para las necesidades del tráfico en aquel momento.

En el año 1964 se comienzan a realizar de forma sistemática los primeros aforos de tráfico, después de los señalados anteriormente, y que se continúan hasta el momento presente. Los resultados de estos aforos son los siguientes:

AÑO	I. M. D. vehículos-día	Crecimiento anual %
1964	103.000	—
1965	135.000	31,0
1966	148.000	9,5
1967	172.000	15,0
1968	191.000	12,5
1969	214.000	12,0
1970	223.000	4,0

(\*) Su variación gráfica puede verse en la figura 1.

Actualmente, y a título comparativo, la plaza que soporta más tráfico en Madrid es la de Cibeles, con un número aproximado de 250.000 vehículos día, siguiendo en segundo lugar en forma muy similar la plaza de Marqués del Duero y la de Atocha.

En el año 1965 y como consecuencia de este aumento del tráfico las intersecciones más críticas y congestionadas eran Cibeles y Atocha, que estaban ya muy próximas a su capacidad lo que obliga a poner en dirección única la calzada central del paseo del

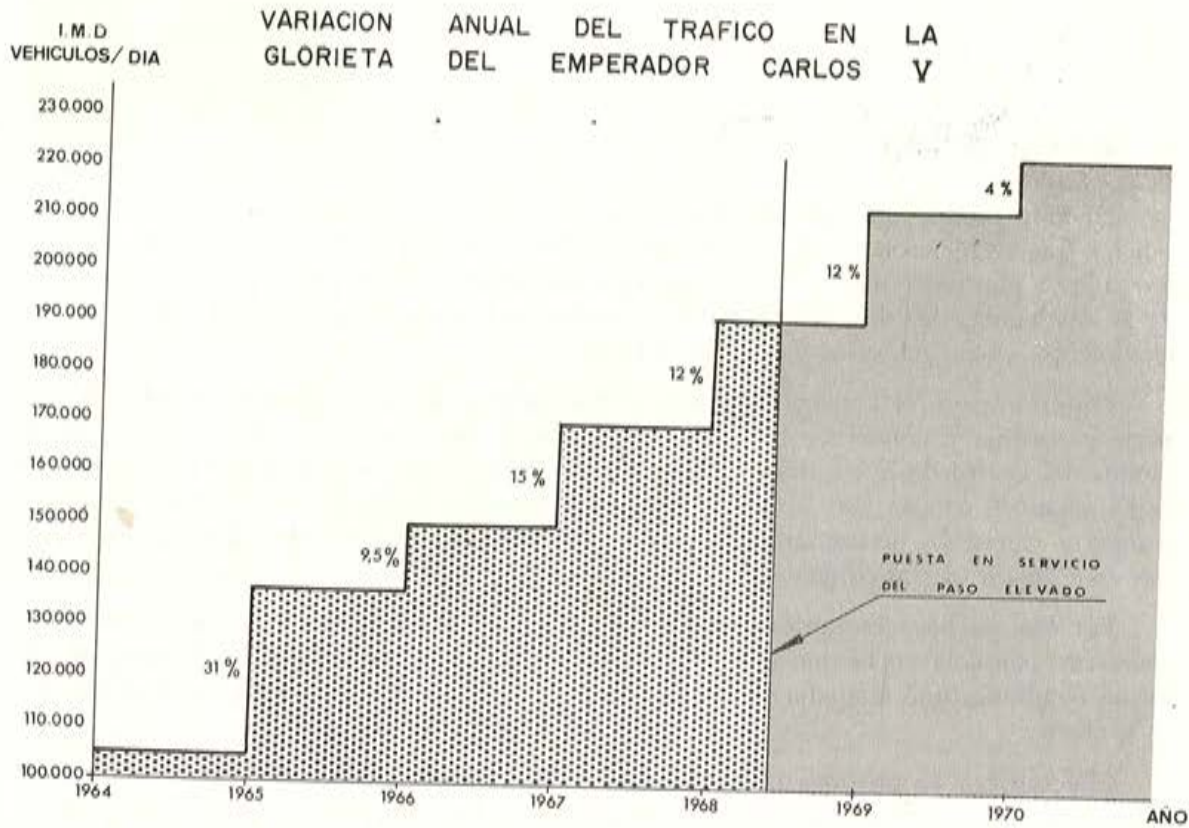


Figura 1.

Prado, y también el par formado por las calles Delicias y Santa María de la Cabeza. Con esto se consiguió un aumento de velocidad en las horas de mayor congestión, que oscilaba del 30 al 50 por 100 con respecto a la situación anterior.

Al seguir aumentando el tráfico en el año 1966 se decidió emplear el último recurso que quedaba para aumentar la capacidad de la plaza con solución a nivel y que consistía en dar el giro a la izquierda Infanta Isabel, Santa María de la Cabeza y Ronda de Valencia por delante de la fuente, es decir, girando por delante de ella en vez de rodearla. Este intento fue positivo y se repitió posteriormente en otros puntos: Marqués de Duero, San Juan de la Cruz, Plaza de la Independencia y últimamente en la Plaza de la República Argentina.

Con esto se agotan las posibilidades de aumentar la capacidad con solución a nivel en la plaza.

Quedan, no obstante, otras posibilidades, pero ya son a largo plazo, y que consisten en desviar el tráfico hacia otras rutas menos congestionadas. Pero estas soluciones no eran todavía factibles, por lo menos hasta dentro de cuatro o cinco años contados a partir de aquel momento. Estas soluciones eran:

1.º Ampliar la plaza ocupando parte de la estación de Atocha. Esta solución era viable y actualmente se está trabajando en un plan parcial de ordenación que prevé el desplazamiento de unos 500 m de la estación en el sentido Este. En el año 66 ya se pensaba en ello, pero no se preveía su ejecución inmediata como ha demostrado la experiencia.

2.º Cierre del segundo cinturón por Dr. Esquerdo-Méndez Alvaro. Esta es una idea que también por aquellos tiempos se pensaba, pero no se veía la posibilidad de su rápida ejecución como también se ha podido comprobar, ya que hasta el año pasado no se ha procedido al comienzo de las obras.

3.º La solución más completa y más definitiva que es la construcción del Tercer Cinturón de la Red Arterial de Madrid y que actualmente está en ejecución en sus dos primeros tramos, que comprenden desde Avda. de América al Puente de los Tres Ojos, pero que al no conectar todavía las carreteras de Andalucía y Extremadura con la de Valencia, no puede resolver los problemas de la plaza.

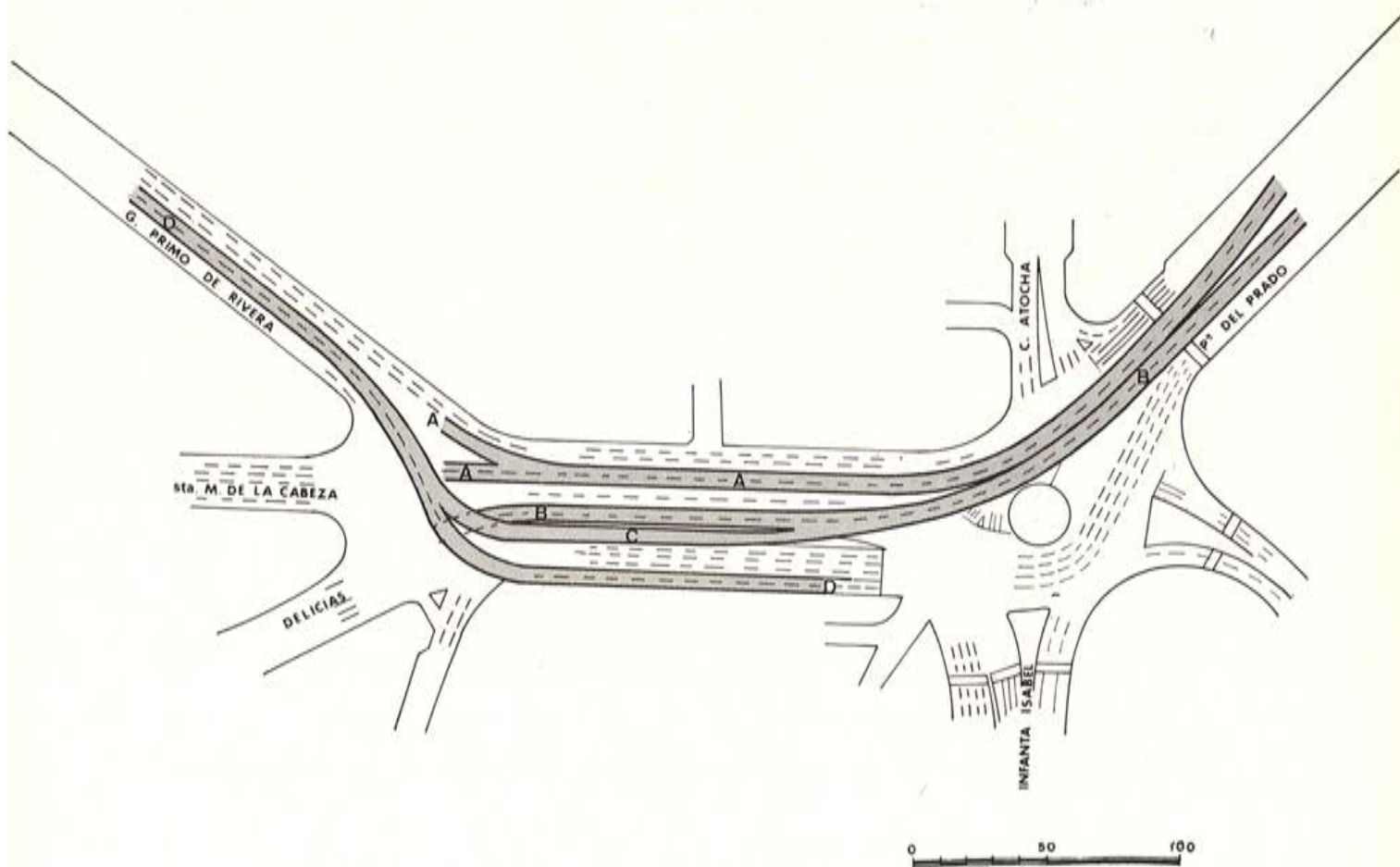


Fig. 2. — Glorieta Carlos V.

Se imponía, pues, una solución posible de rápida ejecución y que pudiera resolver las necesidades del momento. No hay que olvidar, además, que aunque se realizasen las tres soluciones enunciadas anteriormente habría una serie de movimientos en Atocha que no perderían su importancia y que son los que han conducido a la solución adoptada.

## 2. SOLUCION ADOPTADA

Esencialmente había de consistir en un enlace a desnivel que uniese Madrid con su parte sur, o sea, el Paseo del Prado con el eje viario formado por las calles de Delicias y Santa María de la Cabeza. Este enlace era fácilmente completable con un ramal de giro a la derecha y, por consiguiente, sin interferencias con el tráfico que diese el movimiento paseo del Prado-General Primo de Rivera. Quedaba, por fin, otro movimiento General Primo de Rivera-Paseo del Prado e Infanta Isabel que eliminaba puntos de conflicto en la plaza y que también era fácilmente incorporable al paso.

Con esto se tenía definida la solución en planta. La segunda fase del anteproyecto consistía en decidir entre la solución elevada o subterránea (fig. 2).

La existencia de servicios inamovibles en el subsuelo de esta zona tales como metro, enlaces subterráneos del ferrocarril y otros, que si bien son posibles de modificar, como galerías de servicio, conducciones de agua, electricidad, gas y teléfonos, producen indudablemente unas perturbaciones en tiempo y en espacio de las que el tráfico tenía que sufrir las consecuencias, y que en este punto, debido a la congestión, no podía ya soportar, por no ser posibles desvíos por las zonas contiguas, obligaron a una solución elevada de rápido montaje que produjese el mínimo de interferencias.

Decidida ya la solución a escala de anteproyecto se inició el trámite administrativo correspondiente para la convocatoria del concurso de proyecto y subsiguiente construcción de este paso elevado en noviembre de 1966 habiendo sido redactado por los servicios municipales el anteproyecto y el pliego de condiciones.

Pidieron información de las bases del concurso veinticuatro empresas y se presentaron cinco, dos de ellas asociadas con otras empresas extranjeras, una alemana y otra italiana.

El pliego de condiciones redactado para la concesión, aparte de unas características geométricas, de pavimento, de sobrecargas, etc., indicaba que para la adjudicación se tendrían en cuenta los siguientes factores, que no preestablecían orden de prioridad:

- Experiencia.
- Menor plazo de ejecución total.
- Menor plazo de obras *in situ* y que originasen molestias al tráfico.
- Mejores características técnicas y estéticas de la solución.
- Presupuesto más reducido y mejores condiciones de financiación.

Las propuestas presentadas fueron:

Una con pilares de hormigón armado prefabricado y con vigas de hormigón pretensado prefabricado.

Otra oferta presentaba dos variantes:

- Una con pilares de hormigón *in situ* y vigas pretensadas.
- Otra con los mismos pilares y vigas metálicas.

Las otras tres empresas presentaban soluciones con pilares y vigas metálicas.

Los tableros eran, en cuatro empresas, de hormigón armado *in situ* o prefabricado. La otra empresa tenía parte de tablero metálico (39,5 por 100) y parte de hormigón armado (60,5 por 100).

Independientemente de la experiencia de las empresas y de la forma en que realizaban la financiación, que no van a ser objeto de comentario, las características de la estructura, plazo de ejecución y presupuesto de las distintas ofertas eran:

a) *Estructura*.—Las luces máximas en las soluciones de hormigón eran de 22 y 25 m respectivamente para las dos empresas ofertantes y hasta de 47 m para el caso de estructura metálica, lo que traía como consecuencia que para la solución de hormigón el número de apoyos oscilaba entre 54 y 68, y para la solución metálica oscilaba entre 29 y 48. Este factor era importante si se tiene en cuenta que entre los apoyos había de circular el tráfico.

b) *Plazo de ejecución*.—Era similar y comparable en los dos tipos de estructura, metálica y de hormigón; sin embargo, el tiempo durante el cual se producían molestias importantes al tráfico era superior en las soluciones de hormigón.

c) *Presupuesto*.—Una de las soluciones de hormigón era la más barata de todas, siendo la siguiente de pilares de hormigón y vigas metálicas, la que estaba a continuación era totalmente metálica, y la siguiente era la otra estructura de hormigón, siendo las otras dos restantes metálicas.

A la vista de lo anterior y considerando que desde el punto de vista de facilidad de las obras como de calidad estética eran preferibles las soluciones con mayores luces y menores puntos de apoyo para facilitar el tráfico se eligió la oferta que cumpliendo estas condiciones ofrecía unas mejores condiciones de presupuesto y de financiación, y que era la solución con pilas y vigas metálicas y tablero metálico (40 por 100) y de hormigón (60 por 100).

Las obras comenzaron en el verano de 1967 y el paso fue inaugurado en mayo de 1968. El plazo total de ejecución fue aproximadamente de diez meses, incluidas las obras complementarias. El proyecto y la ejecución de las obras fueron realizadas por las empresas Cubiertas y Tejados y Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera.

## 2.1. Trazado viario.

Las principales características del trazado en planta son:

Los ramales tienen todos una sección transversal de dos carriles de 3,00 m cada uno más 0,50 m a cada lado para alojar el bordillo, barrera de seguridad e iluminación. Únicamente existe un carril para el movimiento P.<sup>o</sup> General Primo de Rivera-P.<sup>o</sup> del Prado, y para el giro a la derecha P.<sup>o</sup> del Prado-General Primo de Rivera en los que la sección transversal es de 4,50 m de calzada más 0,50 m a cada lado (figs. 3, 4 y 5).

El radio mínimo de la curva circular en planta es de 52 m, y el parámetro mínimo de la clotoide es de 25,05 m.

En alzado, el radio mínimo en el vértice para acuerdos convexos es de 860 m, y para acuerdos cóncavos de 500 m, cifras que no se ajustan a la Instrucción Española de Carreteras, ya que en zonas urbanas existen unos condicionantes tales como edificaciones y

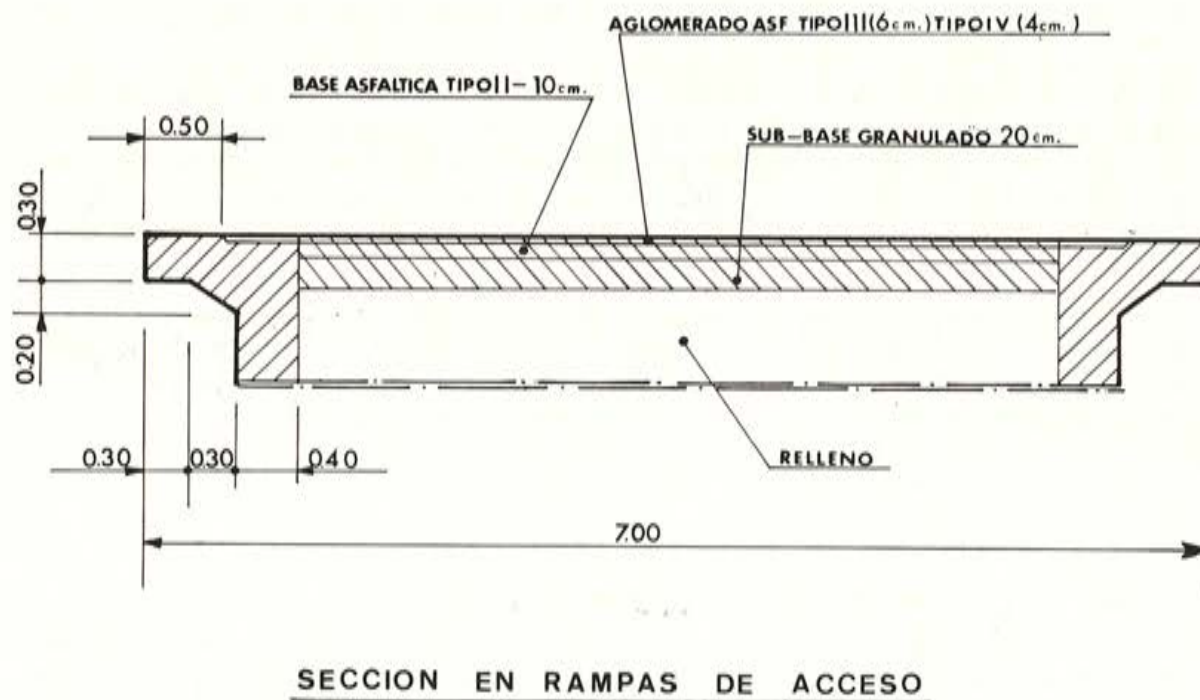
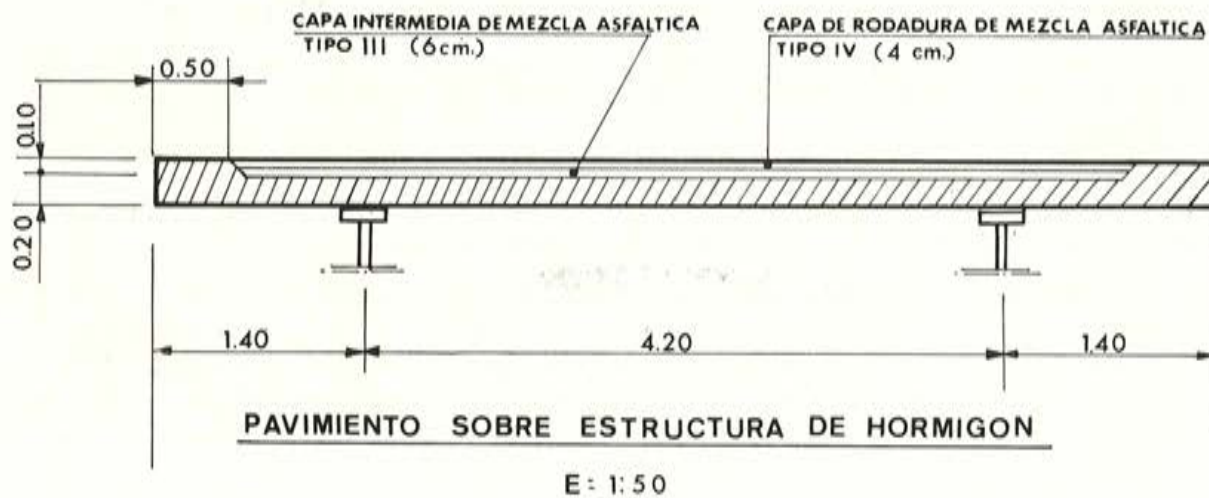


Figura 3.

bocacalles contiguas y velocidades de proyecto menor que en carreteras, que imposibilitan su aplicación, pero que cumplen lo dispuesto en otros países en las normas para pasos a desnivel en zonas urbanas y para velocidades próximas a los 50 km/h. Las pendientes longitudinales máximas oscilan entre el 6,5 y el 8 por 100, correspondiendo el valor máximo a la subida por el P.º de las Delicias.

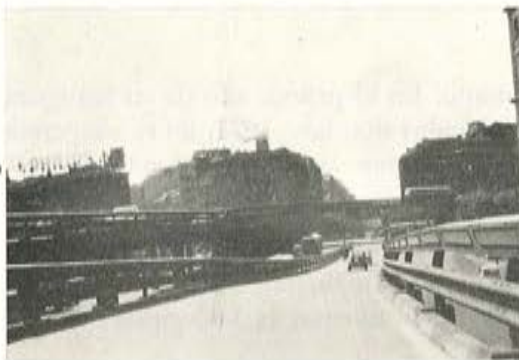


Figura 4.



Figura 5.

Se estimó que por razones estéticas y facilidad de construcción no era aconsejable adoptar peralte. No obstante, en aquellos puntos donde la pendiente longitudinal era menor del 2 por 100 y con objeto de permitir una mejor evacuación de las aguas pluviales, se ejecutó el pavimento con una pendiente transversal del 2 por 100.

## 2.2. Coste por metro cuadrado.

Las diversas partidas que integran el presupuesto total del proyecto pueden desglosarse aproximadamente en la forma siguiente:

	Pesetas	%
Cimentación .....	9.234.033,89	14,19
Estribos .....	3.236.939,46	4,96
Superestructura .....	34.433.580,94	52,88
Pavimentación .....	3.582.713,24	5,50
Urbanización .....	1.080.506,66	1,65
Partida alzada .....	900.000,00	1,38
Barrera de seguridad .....	1.898.460,31	2,91
15 por 100 Dirección Admón. ....	8.264.135,22	12,69
Total presupuesto ejecución por contrata .....	62.630.359,72	
Proyecto 4 por 100 .....	2.505.214,76	3,84
<b>PRESUPUESTO TOTAL .....</b>	<b>65.135.584,48</b>	<b>100,00</b>

Por otra parte, la distribución de superficies en el paso es:

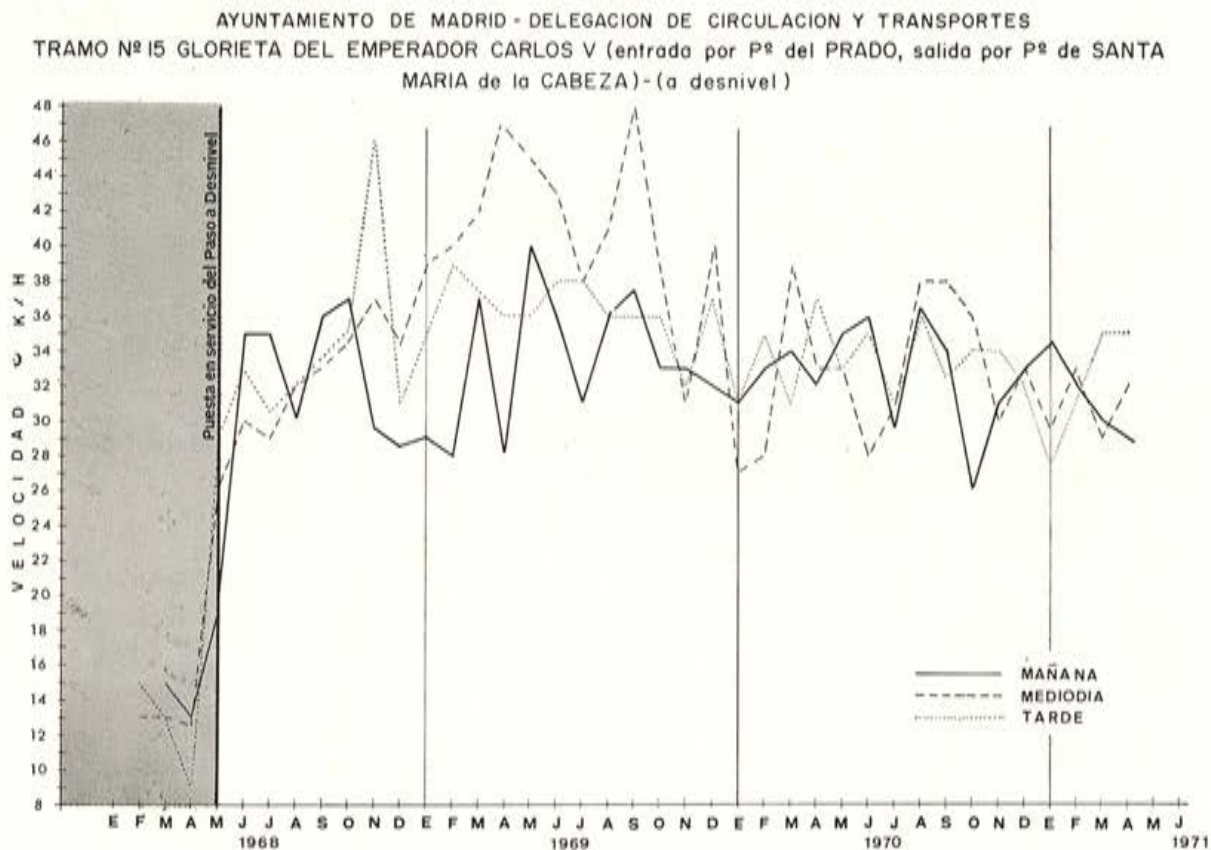
	m <sup>2</sup>	%
Rampas de acceso .....	3.161,40	36
Paso sobre estructura .....	5.560,00	64
<b>SUPERFICIE TOTAL .....</b>	<b>8.721,40</b>	<b>100</b>

Puede deducirse, por tanto, que el coste por metro cuadrado es de aproximadamente siete mil quinientas pesetas.

### 3. RESULTADOS

El paso de Atocha lleva tres años de funcionamiento. En el primer año de su inauguración, 1968, el tráfico en la glorieta era de 191.000 vehículos día; hoy, 1971, no es exagerado afirmar que pasan de 230.000 vehículos día, lo que supone aproximadamente 500.000 personas día y 66.000 kilómetros día recorridos sobre el paso.

Antes de la construcción del paso la velocidad media para el movimiento Paseo del Prado-Santa María de la Cabeza era del orden de los 15 Km/h, hoy día esta velocidad oscila entre los 32 y los 35 Km (fig. 6). En un estudio realizado por la Delegación de Cir-



culación y Transportes al finalizar el primer año de explotación se calculó, con criterio conservador, que durante ese primer año de funcionamiento se habían ahorrado algo más del millón de horas de vehículo, y considerando la composición del tráfico y el índice de ocupación media de los vehículos se llegaba a la cifra de 2,5 millones de personas-hora, de donde puede deducirse que el ahorro anual fue superior a los 100 millones de pesetas, cifra en la que no se incluyen los gastos de funcionamiento de los vehículos, una seguridad mayor y la posibilidad de que la Glorieta pueda admitir un mayor número de vehículos.

Los gastos de proyecto y construcción del paso, incluidos servicios complementarios, alumbrado, señalización, pavimentación, pasos subterráneos de peatones, fueron aproxi-

Figura 7.



Figura 8.



Figura 9.



Figura 10.

madamente del orden de los 100 millones, por lo que no es aventurado afirmar que esta obra fue amortizada el primer año de su utilización.

### 3.1. Accidentes.

Los accidentes graves ocurridos en el paso propiamente dicho desde su inauguración han sido tres. El primero de ellos ocurrió a las siete de la mañana cuando un autocar procedente del Paseo Primo de Rivera y con dirección al Paseo de Infanta Isabel derribó la barandilla de seguridad y cayó a la superficie, casualmente encima de un camión. Hubo heridos pero no víctimas. El segundo accidente consistió en un turismo que también cayó desde el paso, no constando en el parte del accidente información detallada, ya que los ocupantes del vehículo no pudieron declarar debido a su estado de embriaguez. Hubo heridos graves, pero no muertos. Ultimamente, y en 1970, otro vehículo chocó a las tres de la madrugada contra la barrera de seguridad que existe al comienzo del paso en el Paseo del Prado. Hubo una víctima.

Si se tiene en cuenta los índices de accidentes usuales en zonas urbanas que es del orden de 33 accidentes con víctimas por cada millón de kilómetros recorridos, puede afirmarse que si se respeta la señalización existente con una limitación de velocidad de 50 kilómetros por hora, el paso ofrece condiciones suficientes de seguridad.

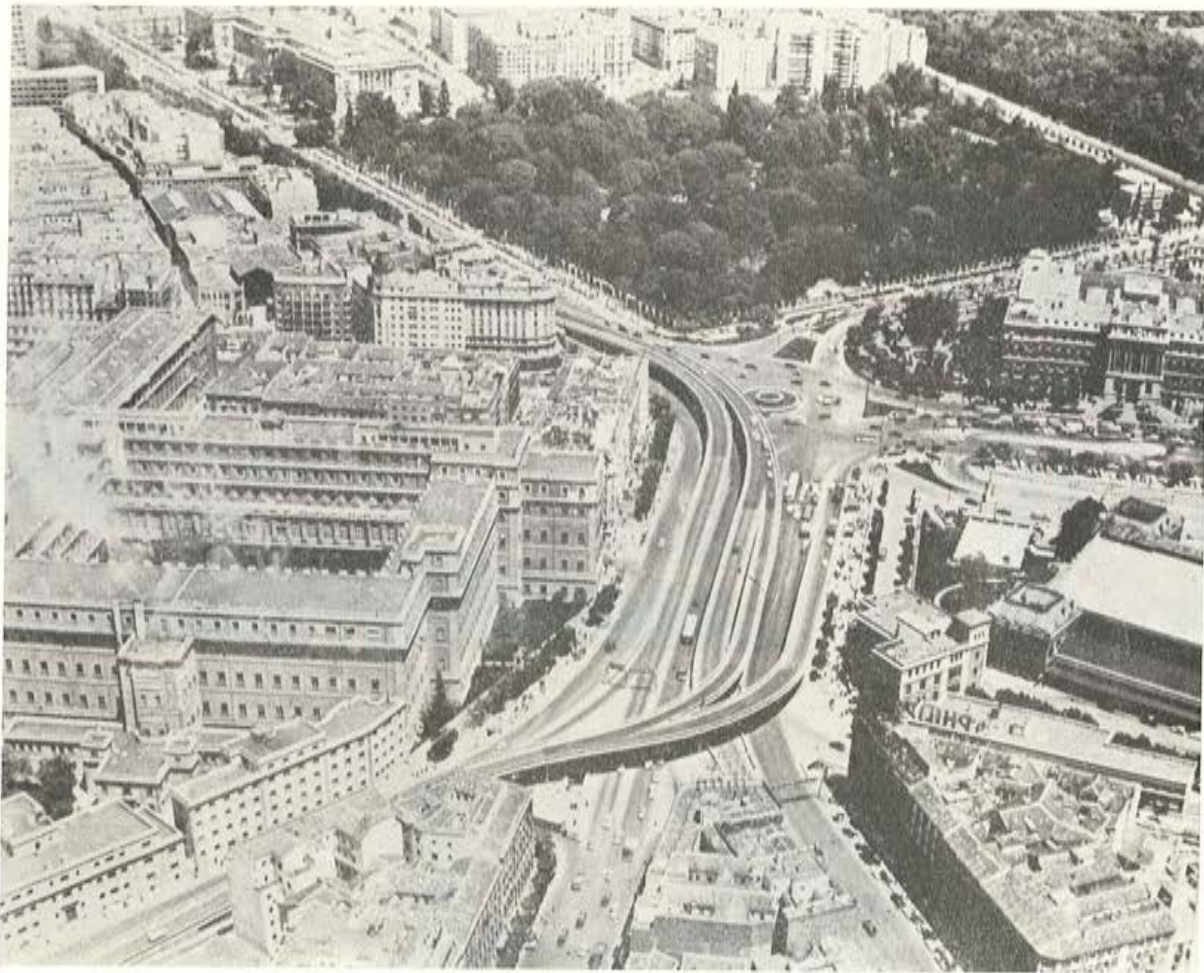


Figura 11.

# paso elevado Francisco Silvela-Joaquín Costa

J. ANTONIO LOPEZ JAMAR  
*Ingeniero de Caminos*

ANTONIO GIMENO FUNGAIRO  
*Ingeniero Industrial*

## FINALIDAD Y EMPLAZAMIENTO

Este paso forma parte del conjunto de obras estudiadas por el Excmo. Ayuntamiento de Madrid para mejorar las condiciones de vialidad de las rondas de Madrid. Su función principal es la de establecer pasos a distinto nivel en los cruces de la avenida de Francisco Silvela con General Mola y López de Hoyos (plaza de Ruiz de Alda). Ha sido proyectado siguiendo las directrices de los ingenieros municipales señores Sarasola y Valls, con el asesoramiento del director de Tráfico, señor Valdés.

Figura 1.



El paso arranca del final de la rampa lado Norte del paso inferior bajo las avenidas de María de Molina y de América y termina, aproximadamente, en el centro del tramo de Joaquín Costa entre la plaza de Ruiz de Alda y el cruce con la calle de Velázquez. Cuenta con dos rampas unidireccionales: una hacia el lado Norte de General Mola y otra hacia el Sur, entre el cruce con dicha avenida y calzada de Francisco Silvela, para permitir el giro a la izquierda hacia la carretera nacional II, sobre el paso inferior de María de Molina (fig. 1).

## TRAZADOS DEL PASO Y RAMPAS

El paso se desarrolla en una sola alineación recta y en una longitud total de 459,66 metros, de los que 359,22 m corresponden al tablero del paso propiamente dicho y 100,44 metros a los accesos terraplenados entre muros de acompañamiento. La rasante es como sigue:

- Rampa del 6 por 100 en 46,08 m.
- Acuerdo de  $K = 700$  m en 61,25 m.
- Pendiente del 2,75 por 100 m en 31,54 m.
- Acuerdo de  $K = 10.000$  m en 150,00 m.
- Pendiente del 1,25 por 100 en 170,79 m.

La rampa de bajada al lado norte de General Mola tiene una longitud total, desde el eje de paso, de 122,62 m, de los que 45,86 m corresponden al acceso terraplenado entre muros de acompañamiento. El ángulo con la alineación del paso es de unos  $43^\circ$ .

Finalmente, la rampa de bajada a la calzada de Francisco Silvela en dirección sur está constituida realmente por un ensanche del tablero y terraplén de acceso, con una longitud total —desde el arranque— de unos 135 metros, casi toda ella con la misma rasante del paso.

## CARACTERISTICAS DE LAS PLATAFORMAS

El paso principal tiene una anchura de plataforma de 15 m, distribuidos en cuatro carriles de 3,30 m y dos aceras-imposta de 0,90 m cada una. En la zona de la rampa de bajada a Francisco Silvela la anchura es de 19,25 m, siendo el único carril de la rampa de 3,50 m de anchura.

La rampa de bajada a General Mola tiene una anchura de 8,50 m con dos carriles de 3,50 m y dos aceras-imposta de 0,75 m cada una (fig. 2).

## ESQUEMA GENERAL DE LA ESTRUCTURA

El paso principal, de hormigón postensado, está constituido por un tablero de una sola pieza, de 359,22 m de longitud, formado por 11 tramos continuos, de 33,78 m de luz los interiores y de 27,60 m los extremos. En la adopción de estas luces ha sido decisiva la ordenación del tráfico en el cruce de General Mola y en la plaza de Ruiz de Alda. En el primero se ha dispuesto la pila con dos pilares en una alineación paralela al eje de la calle General Mola, de forma que la rampa de bajada queda desplazada 1,50

Figura 2.



metros de dicho eje (fig. 3). Y en la plaza de Ruiz de Alda se han dispuesto dos pilas de dos pilares cada una, dentro de dos lunetas de guía del tráfico.

La rampa de General Mola está constituida por un tramo de 25 m, formando bloque con el tablero del paso principal, y dos tramos continuos más, de 21,89 m cada uno.

La sección transversal del paso principal es en dos dobles cajones trapeziales, cuyas cabezas superiores se prolongan enlazándose entre sí en 2,61 m y volando hacia ambos lados 2,75 m. La altura total máxima de la sección, en el eje, es de 1,20 m (fig. 4). En la zona de cruce con General Mola los cuerpos de las vigas se ensanchan y macizan, pero se conservan los vuelos laterales.

La sección transversal de la rampa de General Mola consta de un doble cajón con alas superiores voladas de 2,75 m. La altura total es de 1,10 m.

Las armaduras longitudinales del tablero son tensadas con anclajes CCL. Para la



Figura 3.

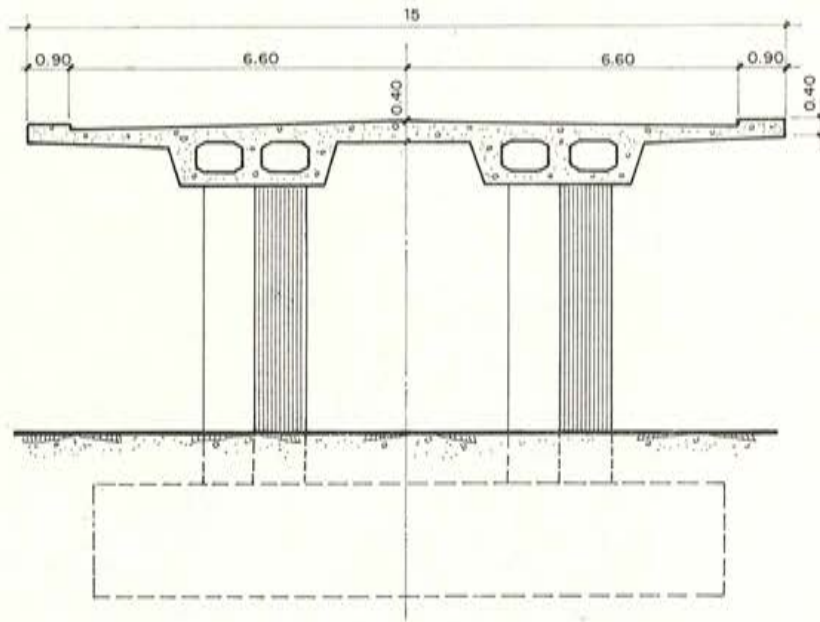


Figura 4. — Sección transversal por el centro de un tramo (cotas en m).

primera fase de tensado — de construcción — los cables son continuos tensados desde un extremo y prolongados con acoplamientos situados en los puntos de inflexión. Estos cables completan con otra serie de cables por tramo, que se cruzan sobre las secciones de apoyo. Las armaduras transversales y de la placa superior son de acero corrugado de  $4.200 \text{ kg/cm}^2$ .

Las pilas están formadas por pilares prismáticos hexagonales de hormigón armado, uno bajo cada viga-cajón; es decir, dos por pila. La cimentación se ha realizado mediante una zapata de hormigón armado por pila (fig. 5).

Los estribos son también de hormigón armado sobre zapatas corridas.

El terreno de fundación está constituido por las arenas arcillosas del plioceno (tasco).

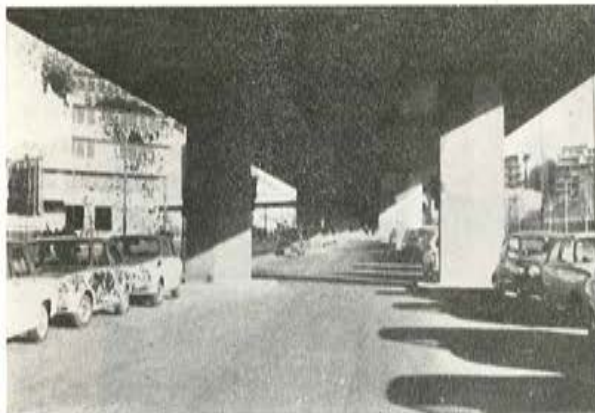


Figura 5.

## EJECUCION DEL TABLERO

El tablero se ha construido hormigonando in situ, por el sistema de avance por tramos completos — entre puntos de inflexión de tramos sucesivos —, empleando cimbras tubulares. Se comenzó por los tramos extremos del lado norte del paso principal hasta completar este paso, y a continuación se ejecutó el tablero de los dos tramos restantes del ramal de General Mola.

El sistema de armaduras tensadas, como se ha indicado anteriormente, consta de cables continuos — en primera fase — tensados tramo a tramo y prolongados mediante acoplamientos. Una vez terminado cada paso — principal y ramal —, se procedía al tensado de otra serie de cables que cubrían cada tramo y las zonas sobre los apoyos.

Ha habido que prestar una atención especial al estudio de la disposición de aparatos de apoyo. Dada la gran longitud del paso principal — casi 360 m —, se dispuso articulación anclada provisional en el estribo del lado norte durante la construcción de los primeros ocho tramos; a continuación se ancló definitivamente en las pilas de intersección con General Mola, liberando el anclaje inicial. Todo ello fue motivado para compensar — cambiándolos de dirección — los efectos de retracción y temperatura, que en gran parte eran del mismo signo.

Los aparatos de apoyo son todos de placas zunchadas de caucho sintético; con láminas de teflón los deslizantes; los dos aparatos fijos van provistos de armaduras pasantes cruzadas.

La duración de la construcción del tablero fue de ocho meses, o sea, una media de poco menos de dos tramos al mes, aunque llegó en algunos tramos el ritmo a uno por semana.

El plazo total fue superior y no significativo debido a los numerosos e importantes cambios de servicios, que retrasaron la construcción de los accesos y las cimentaciones. Es muy importante que, a la hora de fijar los plazos de este tipo de obras se estimen ampliamente esta clase de dificultades, en las que necesariamente han de quedar implicadas las empresas propietarias de las redes.

## COSTE DE LAS OBRAS

El coste total aproximado de las obras del puente se distribuye así:

	Importe — pesetas	Pesetas m. <sup>2</sup> de tablero
Tablero .....	42.000.000	6.500
Pilas, estribos y cimientos .....	12.000.000	1.860
Rampas de acceso, etc. ....	5.000.000	—
<i>Total</i> .....	59.000.000	8.350

El tablero lleva, por metro cuadrado: 0,60 m<sup>3</sup> de hormigón, 37 kg de acero tensado y 49 kg de acero de 4.200 kg/cm<sup>2</sup>.

## CONCLUSION

El paso proyectado se acopla casi perfectamente a las necesidades del tráfico. Únicamente en algunos momentos — muy contados — falta capacidad de espera en la rampa lateral de bajada a Francisco Silvela, por el semáforo de cruce de María de Molina, y ello ha resultado inevitable dada la falta de anchura de la avenida de Francisco Silvela para pasar en esa rampa a dos carriles.

Dadas las relativamente fuertes luces y esbeltez del tablero, el coste de éste ha resultado bastante reducido.

Las pilas y estribos resultan asimismo económicos, debido principalmente a la buena calidad del subsuelo que ha permitido el proyecto de zapatas de superficie.

En conjunto, creemos ha resultado una obra de proporciones agradables y que no interfiere demasiado en las perspectivas del entorno urbano (figs. 6 y 7).



Figura 6.



Figura 7.

## **puenete sobre la Castellana, entre Juan Bravo y Eduardo Dato**

**ALBERTO CORRAL**

**JULIO MARTINEZ CALZON**

**JOSE A. FERNANDEZ ORDOÑEZ**

1.º La idea de enlazar las calles de Eduardo Dato, que iba a morir en el paseo de la Castellana, y Juan Bravo, que terminaba en la calle de Serrano, mediante un paso superior, creando así una nueva vía de circulación Este-Oeste, es muy antigua en el Ayuntamiento de Madrid. Hay que pensar que desde Goya a María de Molina no se podía hacer esa circulación con cierta facilidad y siempre cruzando a nivel el paseo de la Castellana. La evidencia de la necesidad de construcción de este paso superior había inducido al Ayuntamiento a encargar la redacción de un anteproyecto provisional hace ya varios años. Al construirse en los años 67 a 68 la línea del Metro Ventas-Callao, que seguía casi exactamente la traza del futuro paso superior, se pensó incluso en realizar simultáneamente la cimentación del paso, aunque por el momento no se construyese la superestructura, idea que hubo que abandonar por razones obvias.

Posteriormente, la remodelación de la manzana comprendida entre las calles de Serrano, Hermanos Bécquer, la Castellana y Martínez de la Rosa (calle de la "S"), permitió a Gerencia de Urbanismo el arbitrar fondos para la construcción del paso superior, redactándose por dicho organismo un anteproyecto que sirviese de base para la convocatoria de un concurso, concurso que fue convocado en el mes de agosto de 1968. Hay que destacar el hecho de que se trataba de un concurso de proyecto y construcción, modalidad que se ha impuesto casi totalmente, que supone grandes ventajas para la Administración. A este concurso concurrieron gran número de empresas y soluciones, siendo ganadora del mismo Laing Ibérica con proyecto redactado por nosotros.

A la hora de redactar el proyecto para el concurso nos ceñimos, en líneas generales, a las ideas fundamentales del anteproyecto de Gerencia de Urbanismo, pues si bien a primera vista, y así nos lo señalaron infinitas veces los infinitos madrileños que creen poseer las claves de la resolución del problema de tráfico en Madrid, parecía lógico elevar aún más el paso para hacerle volar sobre Serrano evitando ese nudo difícil, la necesidad de elevar unos cinco metros uno de sus extremos incrementaba fuertemente la pendiente, dificultando la circulación, encarecía extraordinariamente el costo de la obra y estéticamente era peor solución que hacer cruzar a Serrano en paso inferior, solución más económica y más lógica, que propusimos repetidamente al Ayuntamiento, aunque, por el momento, no se ha llevado a cabo su ejecución.

Aparte de variar las luces y las distancias entre estribos, no hicimos más modificación

importante que el uniformar la pendiente en toda la longitud del paso, dándole una línea de alzado recta con una pendiente constante del 2,4 por 100. En el anteproyecto de Gerencia de Urbanismo se sugería cruzar la Castellana en horizontal, creando una especie de tobogán más molesto para la circulación y que afearía la perspectiva superior del paso. Las razones eran de estética, pues consideraban los técnicos del Ayuntamiento que en un paseo como el de la Castellana no se podía interponer un elemento inclinado que distorsiona el equilibrio del entorno urbanístico. En un tramo recto, como es el caso del paso superior Raimundo Fernández Villaverde-Joaquín Costa, esto nos habría parecido inaceptable, pero al darse la circunstancia de que la Castellana presenta una curva pronunciada en ese punto, que hace desaparecer su perspectiva, no sólo no había inconveniente en cruzarla con una pequeña inclinación, sino que nos parecía más acertado desde el punto de vista estético, quedando la línea del puente como flecha del arco o ballesta de la Castellana.

Dispusimos un estribo convencional, del lado de Eduardo Dato, y otro del lado de Juan Bravo, aunque posteriormente decidimos eliminar éste, creando una zona libre debajo del acceso, entre la Castellana y Serrano, como parque o zona de recreo y estancia del sufrido paseante de esta zona de Madrid que no tiene en muchos cientos de metros a la redonda ni un pequeño espacio donde sentarse a más de cinco metros de los tubos de escape de autobuses y taxis. Más tarde pensamos en crear además en esa zona un museo al aire libre de escultura contemporánea.

En este parque-museo estarán representados gran parte de los más famosos escultores españoles de este siglo, y pretendemos crear un espacio muy luminoso y de ambiente agradable conjugando materiales nobles, jardines, una fuente musical, una cascada, etc.

La fijación de las luces fue bastante simple, ya que nos pareció desde el primer momento absolutamente elemental el colocar una pila en el centro de cada uno de los dos paseos ajardinados de la Castellana, salvando de un golpe, por supuesto, la calzada central, lo cual nos determinaba una luz central de unos 40 m. El equilibrar esta luz con las adyacentes, salvando las calzadas y aceras laterales, nos llevó a adoptar unas luces para los tramos contiguos al central de 30 m. Por último, dos tramos más a cada lado, de 23 m de luz, nos completaban un conjunto armónico de vanos y hacían terminar la estructura libre o volada con un gálibo suficiente para el paso cómodo de peatones y servicios de limpieza, condición indispensable para que estas zonas no se conviertan en auténticos estercoleros.

Fijadas las luces de los vanos, es decir, la posición de las pilas, surgía el problema de su coincidencia en el subsuelo con una serie de elementos, que dificultaban el proyecto de estos tipos de obras, que en nuestro caso parecían situados allí a mala idea, tal era el número y posición de estos elementos. Se trataba de:

- La estación de Rubén Darío, en bóveda muy rebajada, con sólo 1 m de espesor de tierras hasta el firme en algún punto, y sobre la cual se situaría el estribo de Eduardo Dato.
- El túnel de la línea del Metro, que seguía la traza del paso, con una anchura entre caras exteriores de hastiales de 8,60 m.
- El túnel de los enlaces ferroviarios, que cruzaba bajo el túnel del Metro justamente en el punto donde se iba a implantar la pila del paseo izquierdo, pila correspondiente al tramo central, y la que debería soportar una mayor carga.
- Los colectores Axil y Carcabón que discurrían por el centro de los paseos, y uno

de ellos se cruzaba con el Metro y el túnel de los enlaces casualmente debajo de la pila antes mencionada.

— Infinidad de conducciones de agua, gas y electricidad.

Aunque estas dificultades invitaban a recurrir a la solución fácil de trasladar las pilas, abrirlas en pórtico de soportes inclinados para salvar los hastiales del Metro, sustituir el estribo de Eduardo Dato por otros tramos libres, etc., decidimos proyectar la superestructura del paso sin tener en cuenta estas dificultades, convencidos que siempre que los problemas de cimentación que plantean los elementos del subsuelo no sean insalvables o económicamente inabordables, la superestructura de un viaducto urbano, su línea, sus vanos, sus diversos elementos, lo que se ve de él, en definitiva, no deben ser condicionados por elementos ocultos en el subsuelo que nunca podrán servir de claves de justificación de una estructura desequilibrada o ilógica.

Recurrimos entonces a una serie de soluciones de mayor o menor complicación, como fueron:

- Aligerar el estribo de Eduardo Dato con unos tramos ocultos, en estructura mixta de 16 m de luz, que descansaban sobre pantallas transversales de hormigón pretensado que llevaban las cargas a los hastiales de la estación.
- Desviar los colectores.
- Crear unos encepados-vigas que unían los pilotes a un lado y otro de los hastiales del Metro, apoyando en dichos encepados-vigas las pilas del paso.
- En las pilas correspondientes al tramo central, una cimentación con encepados en voladizo, con un pilote de 1,80 m de diámetro como pilote de compresión y dos pilotes de 1 m de diámetro como pilotes de tracción de 40 m de profundidad.

La resolución de estos problemas de cimentación nos permitió el poder proyectar la superestructura con entera libertad, con una morfología ajustada a su función y al entorno urbano circundante, nos permitió mantener una distribución lógica y equilibrada de luces de vanos, nos permitió el disponer dos pilas verticales, serenas, distanciadas 8 m, centradas, por tanto, en el ancho de 16 m del tablero.

Adoptamos la estructura mixta con losa de hormigón pretensado para absorción de momentos negativos como única solución posible para la viga continua que cubrirá los tres tramos centrales, que económicamente nos permitiría ir a un canto mínimo (1 m en 40 m de luz). El poco peso de este tipo de estructuras simplificaba, además, los problemas de cimentación. Pensamos también en las enormes posibilidades estéticas del acero COR-TEN y el hormigón blanco.

Por razones claras de estética mantuvimos el canto de 1 m en los tramos laterales simplemente apoyados.

Rechazamos de inmediato la posibilidad de realizar la estructura mixta con vigas independientes abiertas, disponiendo dos secciones en cajón, de almas inclinadas, solución de gran simplicidad y belleza, y para un apoyo lógico y coherente de estos cajones, evitando los mamparos transversales encima de las pilas, se proyectaron éstas sobre la base de un fuste y un capitel que recoge los dos apoyos de cada viga cajón, que le proporciona estabilidad al vuelco.

2.º La idea fundamental que presidió la elección del esquema estructural y condujo a la solución final a través de una dialéctica forma-estructura-función fue: tratar de salvar el paseo de la Castellana mediante un dintel lo más transparente posible que no alterara la esencia de dicho paseo; que, visto transversalmente, fuera como una cinta tendida entre los árboles.

Elegimos por ello una solución de canto mínimo, tratamos que la imposta del puente ofreciera una impresión adicional de ligereza por un tratamiento leve y grácil y la barandilla apenas se marque en la vista transversal del puente.

Por otra parte deseamos que los elementos sustentantes del tablero se integraran en el marco del paseo y que, sin embargo, presentaran una entidad personal, y, finalmente, que la textura, el espacio y la vista inferior del puente que debía ser más propiedad del peatón, dé la visión tranquila, ofreciera una impresión modulada, con calidad, textura y tono de los materiales.

Por ello, manteniendo la idea expuesta por Corral de que las condiciones funcionales de la infraestructura no se reflejaran en la obra visible, tomamos como idóneas para las pilas las soluciones verticales, que armonizan con los árboles, columnas, verjas, etc., de la Castellana, pretendimos que estas piezas presentaran un aspecto lo más semejante posible a la piedra, que es el material que preside el paseo, y fueran por ello tersas y lisas, concibiendo al ejecutarlas en color blanco, que es el color que creímos más idóneo para esta obra, dadas sus características.

En este caso, una condición de base fue tratar de respetar el carácter del entorno urbano, sin que ello — como luego expondrá F. Ordóñez — signifique sumisión, ni camuflaje, y se resume también en la forma clásica — pero estructural a la vez — que se adopta: diferenciación clara fuste-capitel, y en este último, formas que recuerdan las clásicas.

En el dintel, repetimos, máxima ligereza de peso de material y tratamiento y mínima perturbación durante la ejecución del densísimo tráfico transversal a la obra.

La solución mixta elegida parece que puede ser la que optimiza estas condiciones:

- a) Mínimo peso, ya que todo el material estructural está plenamente aprovechado, y el acero estructural presenta una relación resistencia-peso respecto al hormigón de 7,5 a 1.
- b) Canto reducidísimo (incluso exageradamente si se quiere, pero deseado por lo antedicho) de 1/40 de la luz central. Realizable por las posibilidades que confiere el acero y a la vez el aprovechamiento de las zonas funcionalmente necesarias, como la losa de hormigón.
- c) Facilidad de ejecución. Obviamente la solución elegida permite el mínimo entorpecimiento del tránsito viario y de peatones durante la construcción.
- d) Posibilidad de prefabricación y mínimos plazos (nueve meses y medio considerando que los dos primeros las empresas de servicios urbanos de nuestra ciudad deshacen cualquier planeamiento posible).
- e) La calidad estética del acero COR-TEN permite el empleo de superficies amplias continuas.

Partiendo de estos datos y de que la solución de pila única era taxativamente irrealizable, dado que el Metro cruza a ras de la calzada de la Castellana, se llegó a la so-

lución en doble cajón, de canto prácticamente constante, condición difícil de cumplir normalmente con aprovechamiento del material, si existen, como aquí, diferencias apreciables de luces en los tramos, 40 m en el vano central, 30 m en los laterales y 23 en los accesos. Sólo se rompe dicha continuidad de canto con un suave acartelamiento de los apoyos centrales, que permiten realzar el dintel en la zona más noble y conferirle un elegante y personal aspecto.

El esquema estructural empleado consiste así, esencialmente, en dos cajones trapeziales de 4 m de anchura en su base, separados 8 m entre ejes, y una losa de 16 m de ancho y 20 cm de espesor.

En los tramos laterales de 23 m simplemente apoyados, se va al máximo aprovechamiento del material y la solución mixta, por ello, resiste inclusive los pesos propios mediante un adecuado apeo provisional de las piezas metálicas.

En el tramo central continuo de tres vanos: 30-40-30 m, la solución mixta sólo hace frente a la carga muerta y la sobrecarga, y los pesos propios gravitan sobre la sección metálica, por razones esencialmente constructivas.

Para aprovechar el hormigón de la losa en toda la longitud de este tramo y ganar la necesaria inercia, se procedió a pretensar la losa de hormigón del tablero, con un sistema que muestra un gran interés desde el punto de vista de las posibilidades de la estructura mixta. Puesto que las condiciones básicas, dado el canto mínimo elegido, las fijaba la deformabilidad del conjunto, resultaba inútil tratar de realizar dicho pretensado sobre la losa una vez ligada a la sección metálica, toda vez que las reducciones de acero estructural que esta maniobra usualmente determina eran aquí inaprovechables por condiciones de flecha.

Así, pues, se prefirió realizar el pretensado exclusivamente aplicado a la losa de hormigón. Antes de conectar este elemento al acero se procedió a la operación de relleno de juntas, tesado de cables e inyección de vainas, y sólo terminadas estas operaciones se conectó la losa al tablero rellenando los alvéolos dispuestos con tal fin.

En el aprovechamiento y facilidad de esta operación juega un papel de gran interés la prefabricación del tablero, que permite: por un lado tener mínimas coacciones (adherencia losa-acero) y, por otro, que los plazos de ejecución de la operación permiten que una gran parte de la retracción se diluya en las placas aisladas y no intervenga en el estado de tensiones del puente, así como apreciable reducción del coeficiente de fluencia, característico en estos sistemas y que influye considerablemente en su mayor aprovechamiento.

El proceso constructivo general y algunos detalles del mismo pueden verse con detalle en las siguientes diapositivas que iremos comentando (figs. 1 a 9).

3.º Mis compañeros Alberto Corral y Julio Martínez Calzón han mostrado ya el puente sobre la Castellana. Yo quisiera ahora entrar un poco en el fondo del nuevo problema que plantea el puente urbano, respondiendo así a la idea que presidió la convocatoria de este simposio. Hace unos meses leímos un artículo de Fernández Casado en el que explicaba su teoría "del puente urbano". En España son muy pocos los que han escrito seriamente sobre este tema. Precisamente es D. Carlos uno de ellos, y en él se da, además, la circunstancia de ser la máxima autoridad de nuestro país en puentes. Por eso me parece oportuno empezar realizando un pequeño análisis, más bien una pequeña crítica, de este escrito, aunque sólo sea para ir aclarando ideas. Vaya por delante de esta crítica — siempre constructiva — mi admiración por su obra y mi respeto por su persona.



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.

Figura 5.

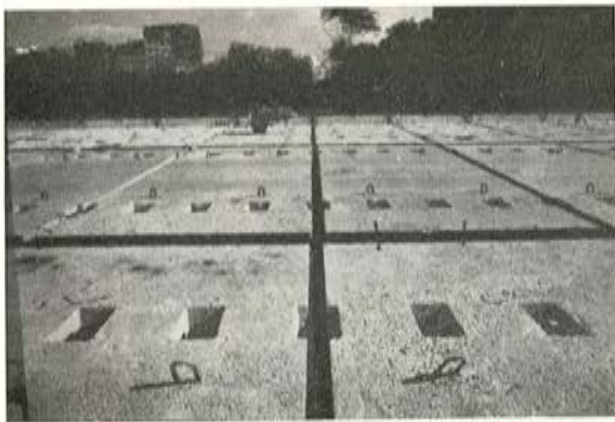
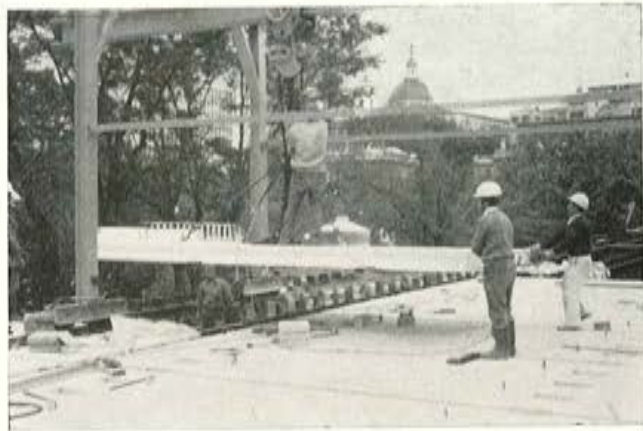


Figura 6.

Figura 7.





Figura 8.

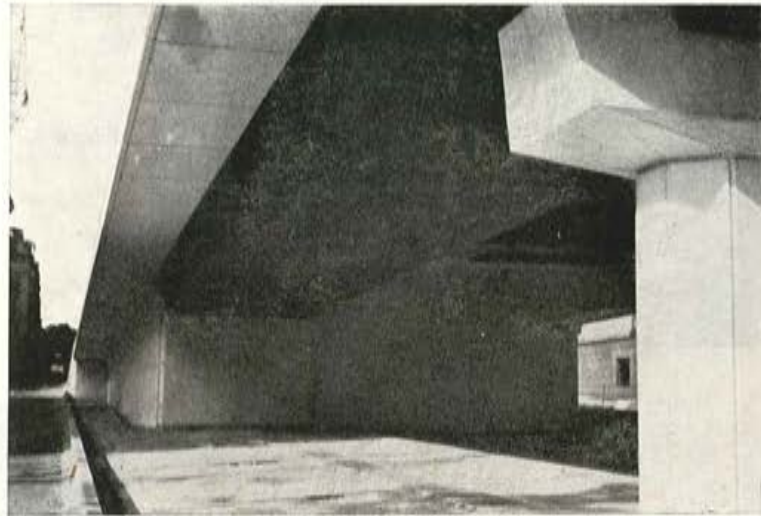


Figura 9.

El primer reparo es de concepto, y por eso quiero insistir en él, no con ánimo de polemizar, sino con el incorregible deseo de comprender.

Fernández Casado dice: “El puente urbano se ha conformado a unas exigencias específicas que han sido resueltas gracias a las posibilidades aportadas por el hormigón pretensado y ha impuesto su morfología a las realizaciones de los puentes de estructura mixta.”

Es difícil estar de acuerdo. Los materiales no pueden imponer su morfología aunque sólo fuera por una primera y profunda razón: la morfología de los puentes, de las obras, no viene dada nunca por los materiales, sino por los hombres que los proyectan y construyen. Los materiales, en este caso el hormigón pretensado, no tienen morfología.

¿Cuál es la morfología de la piedra? ¿La del Partenón, la de las pirámides o la de las catedrales góticas?

¿Cuál es la morfología del ladrillo? ¿La de la Alhambra o la de Alvar Aalto?

¿Cuál es la morfología del hormigón armado? ¿La de Villa Saboya o la de Torres Blancas?

¿Cuál es la morfología del hormigón pretensado? ¿La de los puentes del Marne o la del puente de Maracaibo?

¿Cuál es la morfología de las estructuras metálicas? ¿La de la torre Eiffel o la del edificio Seagram?

En resumen, no podemos estar de acuerdo con Fernández Casado. Ni el hormigón pretensado ni ningún otro material puede aparecer — *a priori* — como solución básica para resolver las exigencias específicas que plantea el puente urbano.

Paso en seguida a unos reparos que podemos definir como de segundo orden, pero ayudan a ir aclarando más detalladamente el tema:

Fernández Casado dice, por ejemplo, que en el puente urbano deben darse las siguientes condiciones:

“...la máxima sencillez, sobriedad y diafanidad en líneas, superficies y volúmenes, aristas vivas...”, ¿por qué?

“...supresión de todo lo superfluo...”, ¿dónde está la frontera de lo superfluo?

“...el mínimo de aristas, el mínimo de planos o superficies definitorias, el mínimo de puntos de convergencia...”, ¿por qué?

“...el hormigón visto ejecutado con encofrado de madera, con las tablas orientadas en las direcciones más sencillas en cada superficie...”, ¿por qué?

“...los vanos de viaductos en ciudad deben ser de un orden de magnitud de 30 a 35 m que resultan agradables...”, ¿por qué?

Ante esta rigidez conceptual nosotros preguntamos ¿por qué?

Puede ser que un tipo determinado de puente urbano se requieran estas condiciones, pero, como teoría general del puente urbano, partir de estos apriorismos me parece prácticamente indefendible.

En definitiva, el diseño de un puente urbano es un caso particular dentro del problema general de la obra de ingeniería ante la Naturaleza. Un caso particular donde la Naturaleza es un poco especial, es precisamente una naturaleza urbana. Tradicionalmente, nos han enseñado en la escuela a camuflar la obra en la Naturaleza. Se nos ha repetido mucho “que la alteración de la Naturaleza debe ser mínima”. En contra de esta postura, de una cierta apatía estética, aparece otra postura, contestataria, que proyecta el objeto humano rivalizando con la Naturaleza, afirmándose contra ella. Esta última actitud me parece un planteamiento grosero; es pretender que el ingeniero puede ser creador prescindiendo de la Naturaleza, del entorno. Es el mismo problema del retrato en la pintura. Nuestro buen D. Antonio Machado lo explicó muy bien: “¿Pintar de memoria? Un desatino. ¿Pintar del natural? Menos aún. El modelo es necesario. ¿Para copiarlo? No, para pensar en él”. Esta es — poéticamente definida — nuestra postura.

¿Cómo concebimos el puente urbano, como teoría general?

Es necesario, para contestar, analizar — aunque sea brevemente — la propia Naturaleza urbana.

Nos aparecen dos tipos de elementos fundamentales: los arquitectónicos, con sus largas alineaciones de fachadas, y aquellos otros que agrupan todo lo que podríamos definir como “mobiliario urbano”, los semáforos, los buzones, los quioscos de periódicos, las fuentes, los monumentos, las entradas de Metro, los anuncios, etc.

¿Cuál es la entidad del puente urbano? El puente urbano no puede encasillarse en ninguna de estas dos subdivisiones. Ni es propiamente arquitectónico ni pertenece al mobiliario de la ciudad. Es más parecido a una escultura, a una gigantesca escultura. Pero es algo más que una escultura, ya que tiene dos facetas importantes, nuevas, en el ámbito escultórico: 1.º, es funcional, se usa, y 2.º, la gente lo pasa y lo traspasa, por arriba y por abajo, como un objeto utilizable a la vez desde fuera y desde dentro, exento, en medio del entorno urbano.

En definitiva, es un mundo espiritual autónomo, una especie de monumento singular, una suerte de compleja escultura estudiada hasta sus últimos detalles, una obra de arte.

Y esta es la cuestión. El paso superior urbano es una obra de arte, y como tal hay que concebirlo y — no lo olvidemos — ejecutarlo.

Y esta grave responsabilidad nos corresponde a todos. En primer lugar, a los ingenieros de la Administración, cuyas actuaciones pueden ser decisivas, para bien o para mal, en el futuro de la obra. En segundo lugar, a los proyectistas y directores de obra, sobre quienes cae el mayor peso de responsabilidad. En tercer lugar, a los constructores, sin cuya aportación, pensando en algo más que en los precios, es imposible llegar al resultado pretendido.

La creación de un paso superior urbano no puede ser la obra de una persona. Aquí, la mente del diseñador — y luego, la del constructor — es la mente de todo un grupo de personas que luchan por el mismo objetivo, es una mente de grupo, cuya ilusión es compartida de parte a parte por todos los que participan en el proyecto y construcción del paso urbano.

En nuestro puente sobre la Castellana, es posible afirmar sin lugar a dudas que existió siempre esa mente de grupo, esa emoción compartida a lo largo de nueve meses de esfuerzo —nueve meses— que fueron como los de un auténtico parto. Desde los ingenieros de Gerencia de Urbanismo hasta el último peón de Laing Ibérica, todos pretendimos con ahínco el objetivo final, donde cada detalle era estudiado hasta el límite.

Alguien nos acusó de pretenciosos. Sin duda lo fuimos, y lo somos. Pretender, pretendemos muchas cosas, aunque no estemos nada seguros de haberlas conseguido.

Esta es, en líneas generales, nuestra opinión. No hay tiempo para más.

Para terminar quisiera citar unas palabras de Ortega, palabras que escuché de labios de Fernández Casado, siendo yo todavía alumno. Era su primera lección en la Escuela y la última de don José Entrecanales como profesor de puentes. Un día histórico.

“El hombre no es un ser natural. Mirado como tal es imposible. El hombre extra-natural, para poder ser, necesita extra-naturalizar la naturaleza creando la máquina, esto es, transformando la naturaleza en máquina. El hombre tiene la obligación de ser ingeniero.”

Es cierto, Ortega tenía razón. El hombre tiene la obligación de ser ingeniero. Pero hay algo que Ortega no dijo —y que hoy es más urgente que nunca— y es que el ingeniero tiene la obligación de ser artista.

# **paso elevado sobre la Castellana, entre Raimundo Fernández Villaverde y Joaquín Costa**

**CLAUDIO HERNANDEZ-ROS**  
*Ingeniero de Caminos*

## **1. ANTECEDENTES**

Los condicionados para el proyecto del paso elevado sobre Castellana, entre las calles de Raimundo Fernández Villaverde y Joaquín Costa, aparecen por la necesidad de salvar la gran bóveda transversal a los andenes de la estación de la Renfe de los Nuevos Ministerios, situada bajo la calle de Raimundo Fernández Villaverde.

Esta bóveda presenta 49 m de longitud libre, por lo que fue preciso situar los apoyos exteriormente a los muros que limitan la bóveda, entre las galerías de acceso a los andenes, y proyectar un tramo con 54 m de luz como mínimo.

Se presentó así un doble condicionado, de distribución de luces, para que apareciese en sitio fijo un tramo con 54 m, y de capacidad portante de los apoyos que en ningún caso debían incrementar las cargas sobre las estructuras de la citada estación.

## **2. DISTRIBUCION DE LUCES**

La distancia entre el eje de La Castellana, y el apoyo del tramo sobre la estación, resulta ser de 54 m, por lo que se decidió repartir para cruzar La Castellana la luz de 54 m, quedando así un tramo sobre el andén y calzada lateral del citado paseo de 27 m (fig. 1).

La solución estructural aparece sencilla. Tramo con luz de 27 m y voladizos de 6,75, lo que da un total de 40,50 m y luces de 54 m, salvadas por los voladizos de 6,75 sobre los que se apoya un tramo también de 40,50 m de longitud.

El estribo se distancia 15 m del otro apoyo de la estación, con lo que las luces del puente aparecen al repetirse por razones de simetría en la calle de Joaquín Costa, con 15, 54, 27, 54, 27, 54, 15, en suma, 246 m de estructura.

Los tramos laterales de 21,75 m se apoyan y anclan en el estribo, y apoyados en la primera pila vuelan 6,75 m.

## **3. CIMENTACION DE LOS APOYOS DEL TRAMO SOBRE LA ESTACION**

Como ya indicábamos se presentaba la necesidad de transmitir las cargas al terreno sin recargar las estructuras de la estación, por lo que se decidió el empleo de pilotes in situ

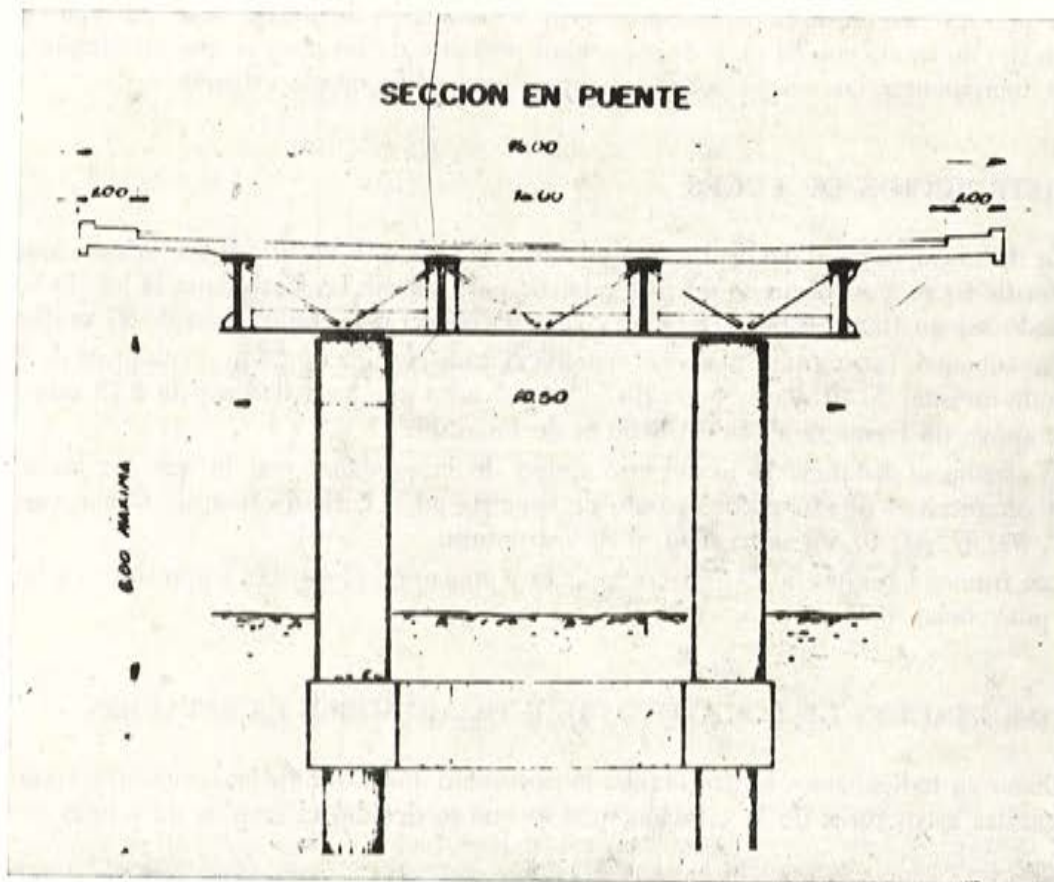
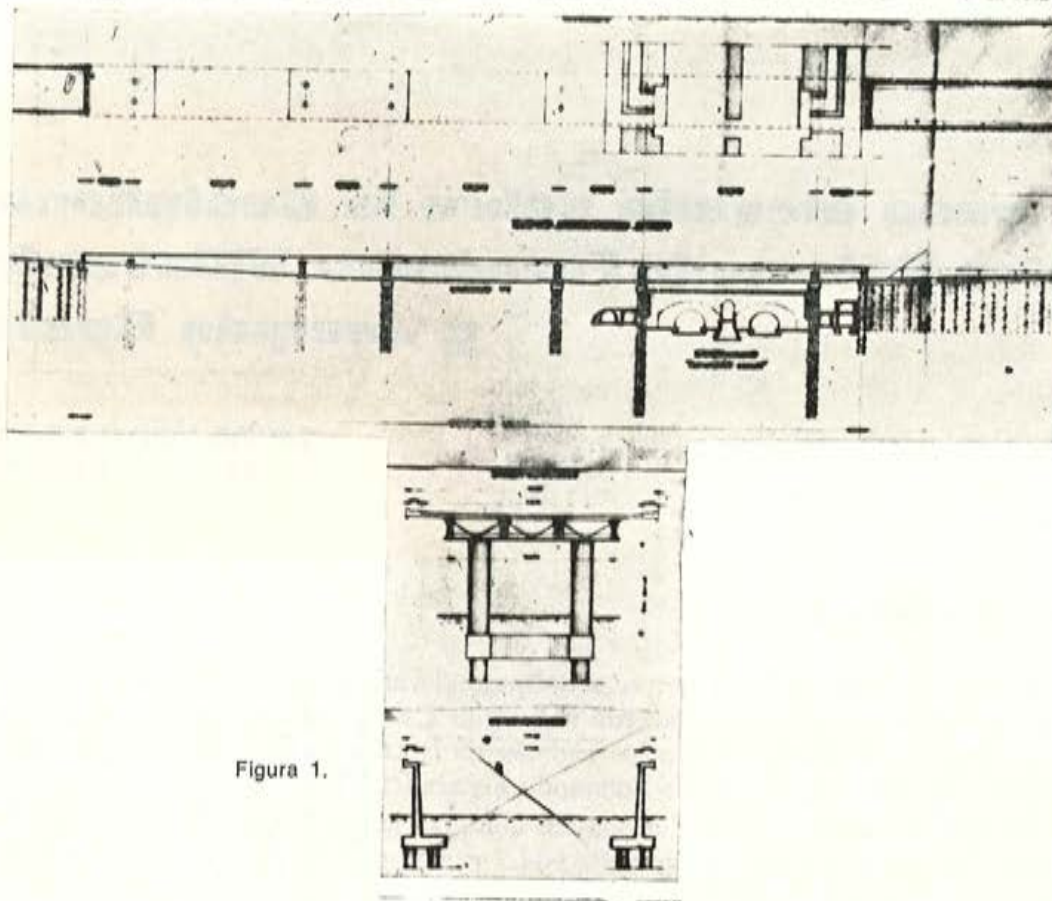


Figura 2.

que fuesen encaminados con chapa de acero hasta sobrepasar el plano de cimentación de las estructuras de la estación, penetrando en el terreno natural 20 m para transmitir sus cargas.

El diámetro de los pilotes tuvo que ser limitado a 1 m para poderlos situar dentro de los muros de apoyo de las galerías de acceso de viajeros, muros que presentan un espesor de 1,50 m.

Alterando ligeramente el eje de los apoyos, respecto al eje teórico del paso superior, pudo repartirse bastante equilibradamente la carga sobre los cuatro pilotes, que pudimos emplazar entre las galerías de acceso (fig. 1).

La capacidad portante del pilote de 1 m nos condicionaba el tipo de estructura, que forzosamente tenía que ser aligerada.

#### 4. TIPO DE ESTRUCTURA

La sección del tablero, prevista por tráfico, era de dos calzadas de 7 m, con separación central y dos aceras de servicio.

Buscando una solución que permitía aligerar el peso propio, sin merma de las ventajas que en orden a la conservación presenta el tablero de hormigón, se adoptó una estructura mixta de acero con tablero de hormigón postensado.

La sección del tablero está formada por cuatro vigas de doble T de 1,25 m de altura y 0,50 de ancho, separadas 3,50 m. Sus cabezas inferiores se unen con planchas de 3 m, formándose así a efectos estructurales una cabeza continua de 10,50 m de anchura. El tablero de hormigón postensado queda unido a las cabezas superiores y vuela 2,75 m del eje de las vigas extremas, alcanzando así 16 m de anchura total (fig. 2).

El espesor del hormigón es de 0,20 m en el centro, y 0,18 m en el borde, donde se remata con una viga de rigidez de 0,56 m de altura.

El canto de la estructura es uniforme y de 1,50 m. Se decidió conservar el canto uniforme porque su variación produce en este tipo de estructuras urbanas visibles desde muy diferentes perspectivas, efectos ópticos deplorables, obteniéndose con el paralelismo de las líneas del tablero y cabeza inferior de la viga una solución de gran belleza que queda perfectamente combinada por la forma curva de la línea de la rasante, solución obligada para dar un mayor gálibo bajo el puente de la calzada central sobre La Castellana.

La gran esbeltez del puente,  $1,50/54 = 1/36$ , lleva a fuertes cargas en la estructura de acero, y teniendo que limitar por razones constructivas y de mejor aprovechamiento del material el espesor de las chapas que forman la cabeza de las vigas se proyectaron con acero A-52 soldable.

#### 5. APOYOS

Las pilas consisten en dos cilindros de  $\varnothing$  1,20 m, separados 6 m sobre los que se apoya el tablero por intermedio de 5 placas de neopreno de  $500 \times 500$  mm, separadas con chapas metálicas. El espesor total del apoyo es de 68 mm, suficiente para no dificultar las deformaciones térmicas de la estructura (fig. 3).

La cimentación de los apoyos en La Castellana y Joaquín Costa se resuelve con cua-

tro pilotes de 1 m, realizados in situ, separados 2 m en sentido longitudinal y 6,5 m en sentido normal al puente.

Alcanzan una profundidad de 21 m para que puedan transmitir sus cargas, prescindiendo del terreno situado sobre la cota de carriles de un supuesto metropolitano bastante superficial que atravesara La Castellana.

Una zapata de  $3,5 \times 8$  une las cabezas de los pilotes a los que transmite la carga de las pilas cilíndricas.

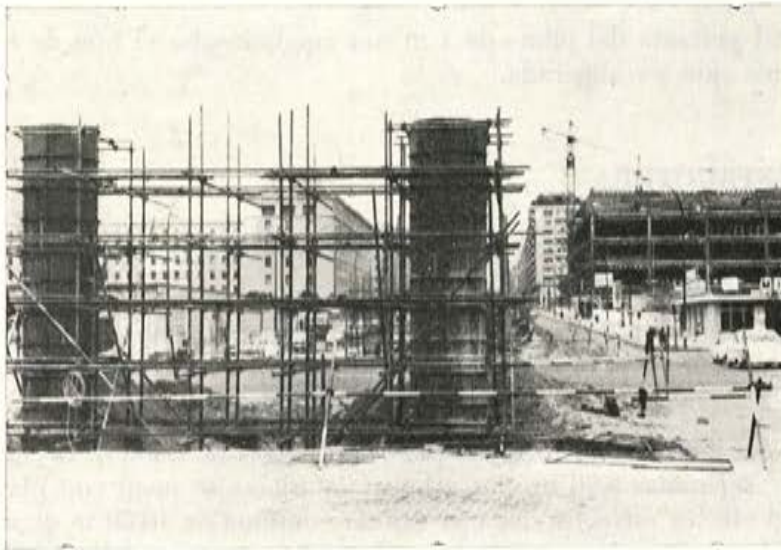


Figura 3.

En los apoyos sobre la estación se comprobó separadamente la carga para cada pilote, teniendo en cuenta después del replanteo su situación real respecto al eje de las pilas.

Por último se cimentaron los estribos y muros de acompañamiento sobre pilotes de 60 centímetros, teniendo también en cuenta para su dimensionado la construcción del metropolitano.

Como anécdota final a las dificultades para construir las cimentaciones citaremos las interferencias con servicios anteriormente establecidos y que en la mayor parte de los casos fue preciso desviar.

Encontramos y replanteamos los siguientes servicios; siete cables de alta tensión, una caseta de transformación subterránea, cables telefónicos con 50.000 líneas, y cuyo traslado por la necesidad de comprobar las nuevas conexiones exigió tres meses, cables de la red telefónica oficial, arteria principal de gas, dos arterias de Hidráulica Santillana, tuberías del Canal de Isabel II, dos alcantarillas que no interferían los apoyos y una tercera que al no figurar provocó un pequeño hundimiento, y, quedando cortada, nadie ha protestado en dos años.

En fin, "pensando en los demás" se ha procurado dejar unas cimentaciones que permitieran realizar con seguridad la línea de Metro proyectada, que atravesaba muy superficialmente La Castellana, y en efecto, el proyecto ha sido cambiado por unos túneles profundos.

Al establecer un servicio es necesario pensar en el futuro, pero es muy difícil adivinar ese futuro, y las interferencias con servicios existentes son siempre una carga para el proyectista de nuevas estructuras.

## 6. MONTAJE

Las vigas doble T fueron construidas en La Felguera con longitudes de 13,50 m, empalmándose en obra hasta alcanzar su longitud de 40,50 m. en el andén central de las calles de Joaquín Costa y Raimundo Fernández Villaverde, andén que no se utilizaba para el tráfico (figs. 4 y 5).

Figura 4.

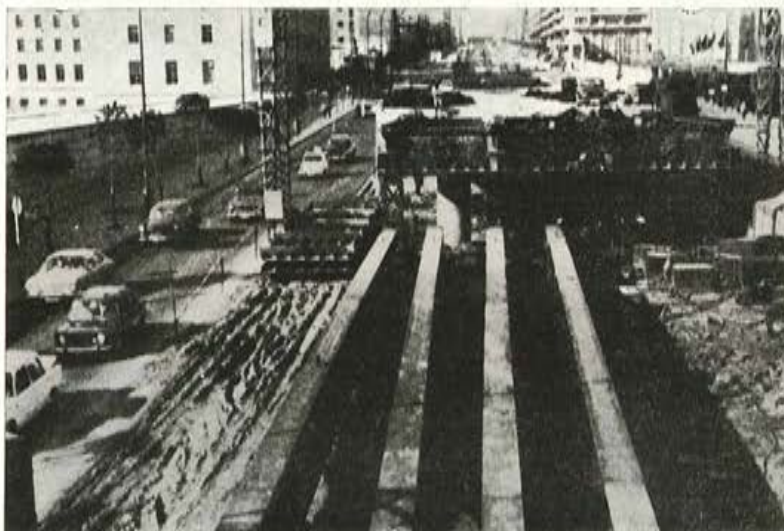
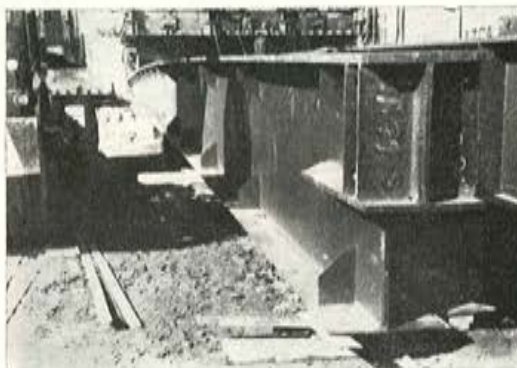


Figura 5.

Formadas las vigas de 40,50 m se montaron en las luces de 27 y 15 m, empleándose apoyos intermedios hasta que quedó formada la estructura metálica por la unión de las dobles T con las chapas de la cabeza inferior y colocados los arriostramientos (figs. 6, 7 y 8).

Posteriormente se montaron los tramos apoyados con fuertes contraflechas para tener en cuenta las deformaciones de la carga permanente (fig. 9).

Los apoyos intermedios, como puede verse en las figuras 10 y 11, no supusieron obstáculos para la circulación, y el montaje de las vigas se realizó en horas de madrugada, desviando un tráfico casi inexistente.



Figura 6.

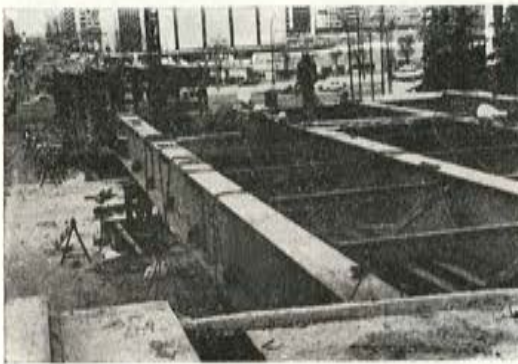


Figura 7.



Figura 8.

Figura 9.



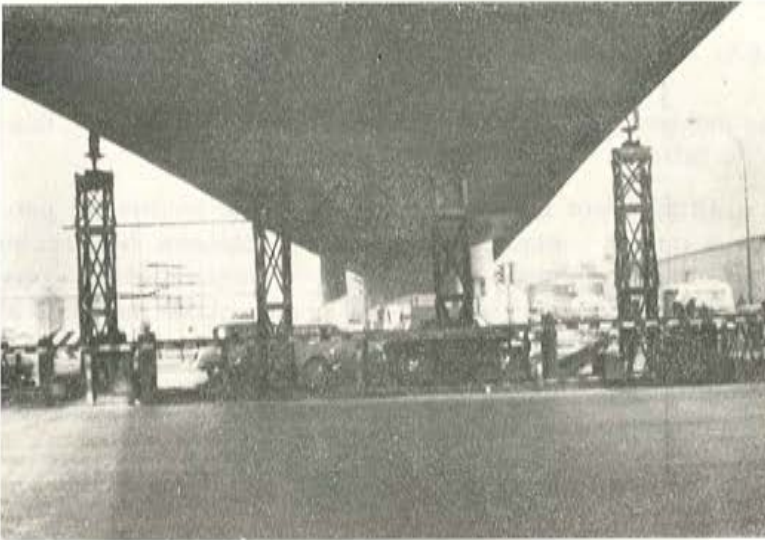


Figura 10.



Figura 11.

Ya con la estructura metálica terminada se iban hormigonando los tableros en el mismo orden que se montaron, dejando sin realizar la viga de borde hasta que el puente estaba prácticamente acabado, y se habían presentado la deformación por el peso propio. Esto permitió dar al puente una línea final continua que corregía pequeñas diferencias en las deformaciones de los tramos.

Figura 12.



## 7. ELEMENTOS AUXILIARES

En el proyecto aprobado se incluyeron como en el de Cuatro Caminos y Atocha, bandas metálicas en la separación de calzadas y protección de aceras.

Posteriormente se decidió sustituirlas por unas barras mucho menos resistentes, pero sin duda más estéticas. El hecho es que en contadas ocasiones, los vehículos han hecho saltar estas débiles defensas y no se han producido accidentes, que esperamos no se presenten en el futuro, y desde luego debemos reconocer que el puente queda mejorado al no presentar las anchas bandas elásticas laterales.

Igualmente, y para no recargar la barandilla, se ha resuelto la iluminación con altas farolas, situadas en el nivel de La Castellana fig. 12, 13 y 14).

Figura 13.



Figura 14.



## viaductos urbanos en Londres (\*)

D. J. LEE

La mayoría de las ciudades, a causa de la congestión del tráfico, se están viendo forzadas a desarrollar amplios programas de reforma y reconstrucción con todos los problemas que ello supone. Quizá uno de los más importantes sea el que se plantea al tratar de introducir y encajar la estructura de una carretera dentro del casco urbano.

Las carreteras elevadas constituyen, precisamente, una de las soluciones más interesantes para el desarrollo y renovación del tráfico en las ciudades. No se pretende hacer aquí un estudio completo de estas estructuras, sino sólo comentar el proyecto de las carreteras elevadas, considerándolo como una rama especial del proyecto de puentes en general, y haciendo especial referencia a algunos ejemplos construidos por el autor.

### RELACION ENTRE EL PROYECTO DE "PASOS ELEVADOS" Y DE "PUENTES"

Los avances logrados en el proyecto de pasos elevados tienen, como es lógico, gran influencia en el desarrollo de los proyectos de puentes en general.

Los problemas que plantea el paso elevado son tres, fundamentalmente. En primer lugar, el paso elevado debe suponer una contribución arquitectónica al entorno urbano, que no ofenda a la vista. En segundo lugar, los pasos elevados son de gran longitud y aún lo serán más en el futuro. Por ello, rara vez son rectos; en general, suelen describir una curva continua en tres dimensiones. En tercer lugar, el proyecto de rampas, intersecciones y obras a varios niveles debe quedar integrado en la propia estructura del paso elevado.

Frecuentemente es necesario incluir un conjunto de estructuras de pasos elevados como parte de los accesos a otro paso elevado de mayor importancia. Como ejemplo puede citarse el puente Kingston, de Glasgow.

### ASPECTO ARQUITECTONICO

Generalmente, en Inglaterra, los pasos elevados son financiados por el departamento de ingeniería vial de la autoridad local. Esto significa que, en la práctica, son estructuras de ingeniería, en las que se tiende a anteponer el costo y la durabilidad al aspecto estético. Aunque hasta ahora este criterio sea el más general y extendido, sin embargo, ya actualmente se suele aceptar que los pasos elevados tienen que constituir una aportación arquitectónica al entorno en que están incluidos.

(\*) Texto de la conferencia pronunciada en el Simposio sobre viaductos urbanos que, organizado conjuntamente por la Asociación Técnica Española del Pretensado y el Instituto Eduardo Torroja, se celebró durante los días 25 y 26 de mayo de 1971, en el salón de actos del mencionado Instituto.

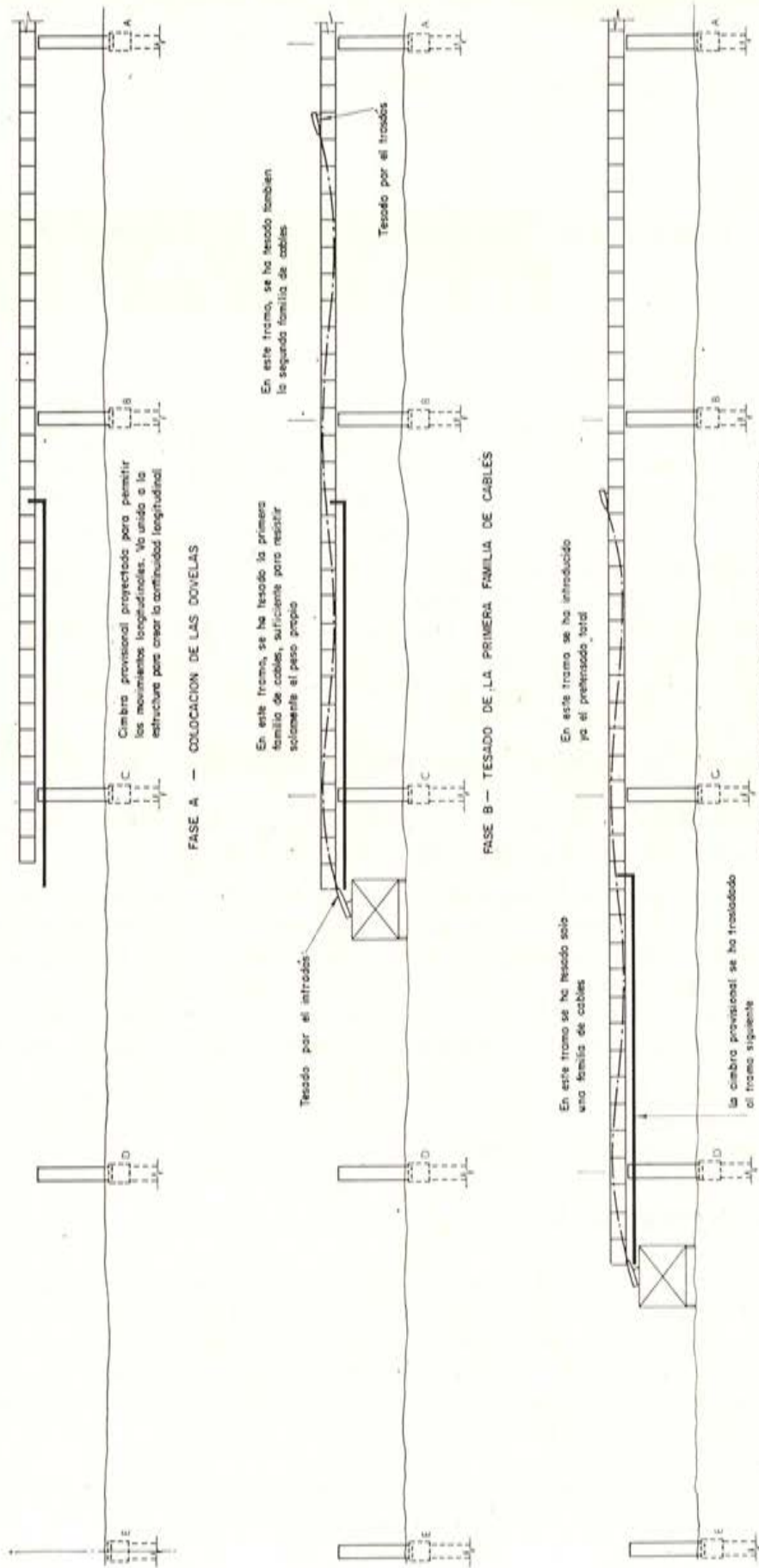


Fig. 1. — Paso elevado de Mancunian Way, en Manchester. Proceso constructivo.

## ESTRUCTURAS PRETENSADAS Y ESTRUCTURAS COMPUESTAS

El uso de estructuras de hormigón pretensado, tanto prefabricadas como in situ, puede considerarse normal, en Inglaterra, en el caso de puentes de luces moderadas. En los casos en que la ventaja económica de una solución determinada no resulta fácil de prever, se recurre a la convocatoria de concursos, en competencia, de proyectos o anteproyectos para soluciones en hormigón pretensado o estructuras compuestas.

Generalmente, en estos concursos es el hormigón pretensado el que resulta elegido. De todos modos, las estructuras compuestas se han utilizado en varios pasos elevados, y el hecho de que en esta conferencia no se trate de esta técnica no quiere decir que en Inglaterra se hayan desechado las posibilidades inherentes a la misma. En realidad son varios los tableros de puentes de estructura compuesta, construidos a base de vigas de hormigón pretensado con losa superior hormigonada in situ.

### ARTICULACIONES

Como es lógico, el tipo de articulación que vaya a adoptarse en la estructura de un determinado paso elevado, debe tenerse muy en cuenta desde el momento inicial de la concepción del correspondiente proyecto.

Frecuentemente se utilizan estructuras isostáticas. Pero también es normal el empleo de estructuras que trabajan como hiperestáticas, tanto bajo las cargas permanentes como las sobrecargas, lo mismo si se construyen in situ que si son prefabricadas. Las estructuras continuas de muchos vanos necesariamente tienen que ser construidas en varias etapas sucesivas, y a menudo se utiliza el método de construcción de "tramo por tramo". En este caso, los cables de pretensado de los sucesivos tramos se disponen de forma que su empalme coincida con el punto de inflexión de la ley de momentos en cada vano; punto que, aproximadamente, se encuentra situado a una distancia del apoyo igual al quinto de la luz (fig. 1).



Fig. 2. — Paso elevado de Hammersmith, en Londres.

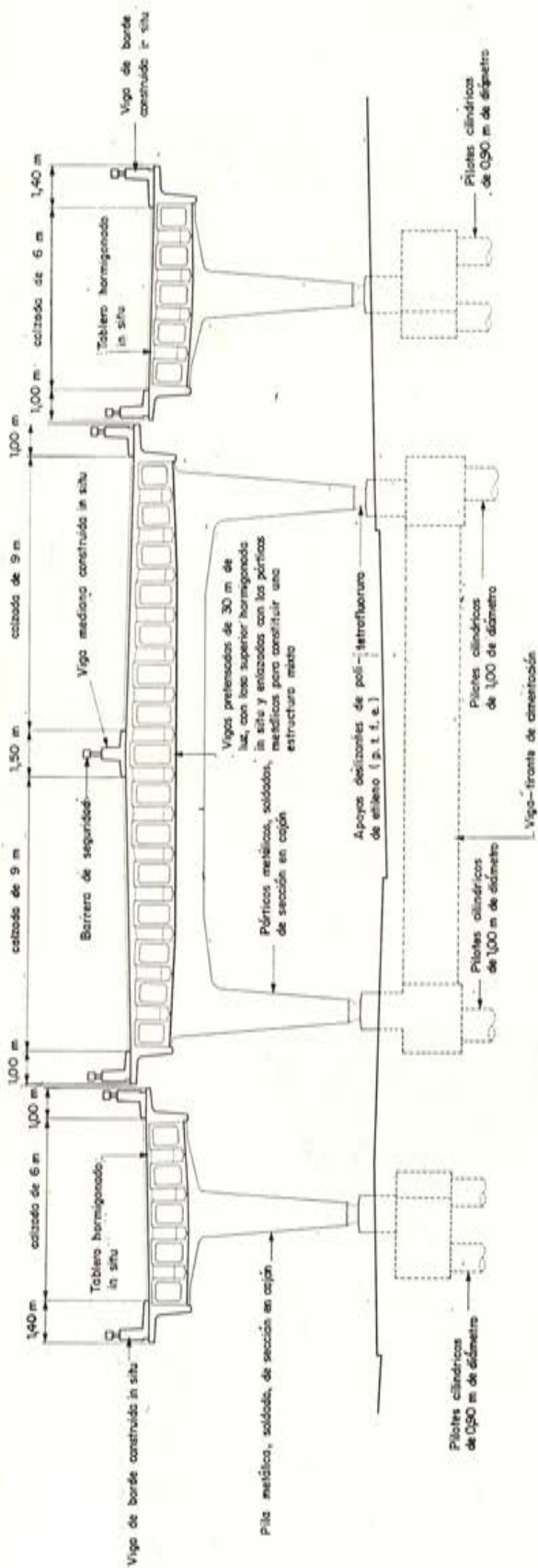


Fig. 3. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal de la estructura de uno de los tramos de 30 m de luz.

El trazado de los cables se puede ajustar para que se adapte a la ley de distribución de los momentos flectores producidos por el peso propio, tanto en el centro de la luz como en los apoyos.

Tanto en el proyecto como en el proceso de ejecución debe tenerse muy en cuenta el trazado de los cables de pretensado, ya que según sea este trazado se pueden originar momentos secundarios y terciarios, cuya distribución será preciso estudiar en forma análoga a como se hace con los momentos producidos por el peso propio.

La utilización de vigas largas continuas da lugar, entre otros problemas, a los que se derivan de la necesidad de conocer de un modo exacto los movimientos que se producen en las estructuras de hormigón. Estos problemas han sido estudiados inicialmente por el "Road Research Laboratory" sobre el paso elevado de Hamersmith y, desde entonces, su estudio se ha continuado sobre otras estructuras, como el puente de Medway y el paso elevado de Mancunian Way. Gracias a esto, actualmente se posee un conocimiento mucho más completo de los movimientos que realmente se producen en las estructuras de hormigón.

La articulación de las vigas continuas requiere solucionar el problema de los apoyos. En el caso de vigas cortas, los apoyos de rodillo normales pueden absorber los movimientos producidos por los cambios de temperatura, retracción, fluencia, etc. Estos apoyos se pueden situar al pie de las pilas, como en el paso elevado de Hammersmith (fig. 2) y la sección 6 del Westway (fig. 3), con lo que se logra que el conjunto de la estructura pueda moverse monolíticamente como si se tratase de un pórtico de varios vanos. En estos casos, la estructura se ancla, bien a los estribos o a la pila central. Sin embargo, la posición más corriente de los apoyos es sobre las cabezas de las pilas.

Los apoyos deslizantes de p.t.f.e. (politetrafluoruro de etileno o teflón), debido a sus propiedades excepcionales, se han desarrollado rápidamente con gran éxito. Una de sus

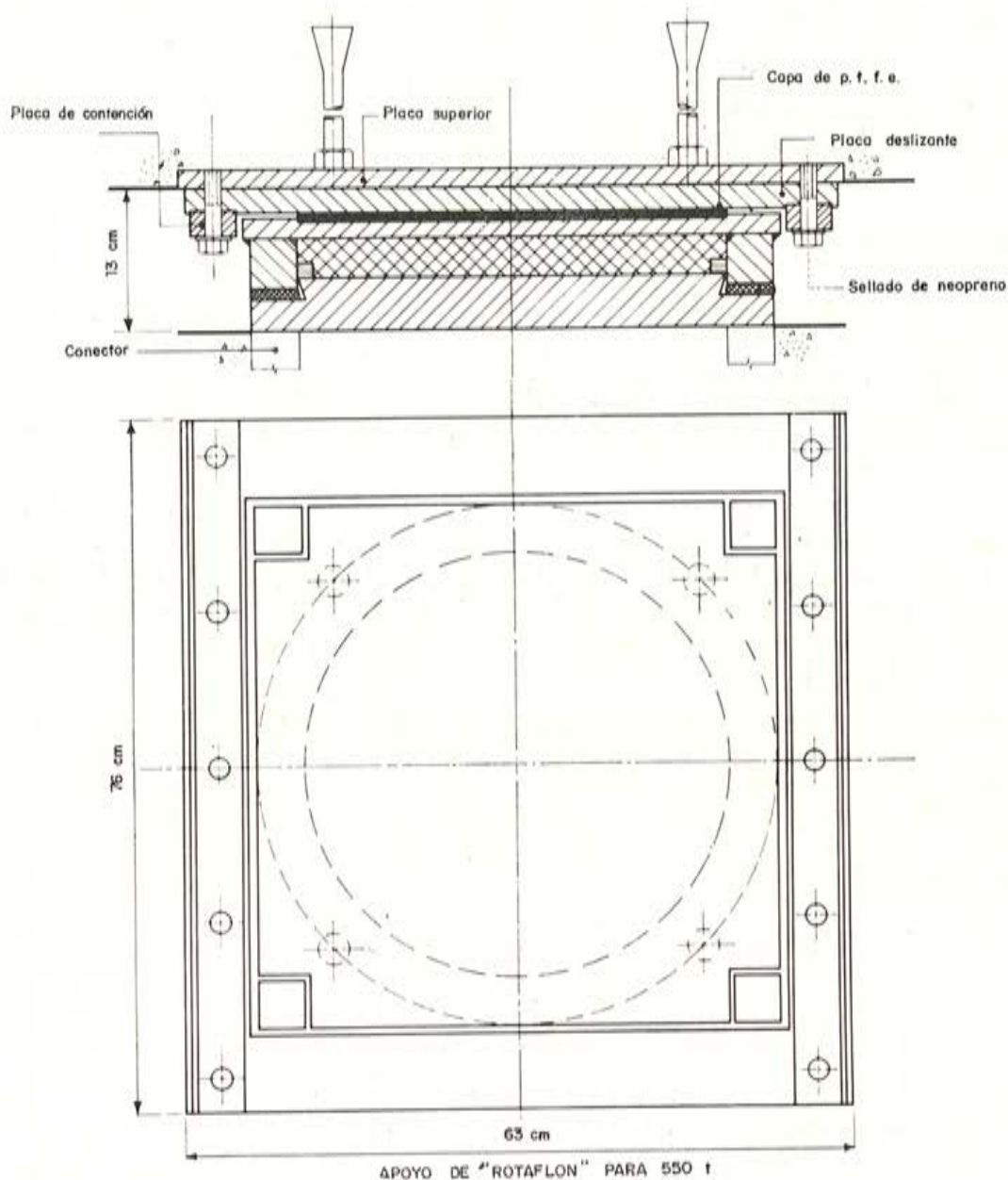


Fig. 4. — Detalle de los apoyos deslizantes de P.T.F.E., del paso elevado de Mancunian Way.

características más ventajosas es la eliminación de cargas excéntricas, ya que la placa deslizante puede formar parte de la viga continua, dejándola embebida en ella, mientras que la placa y cuello de la articulación, de p.t.f.e., se fijan al eje de la pila (fig. 4).

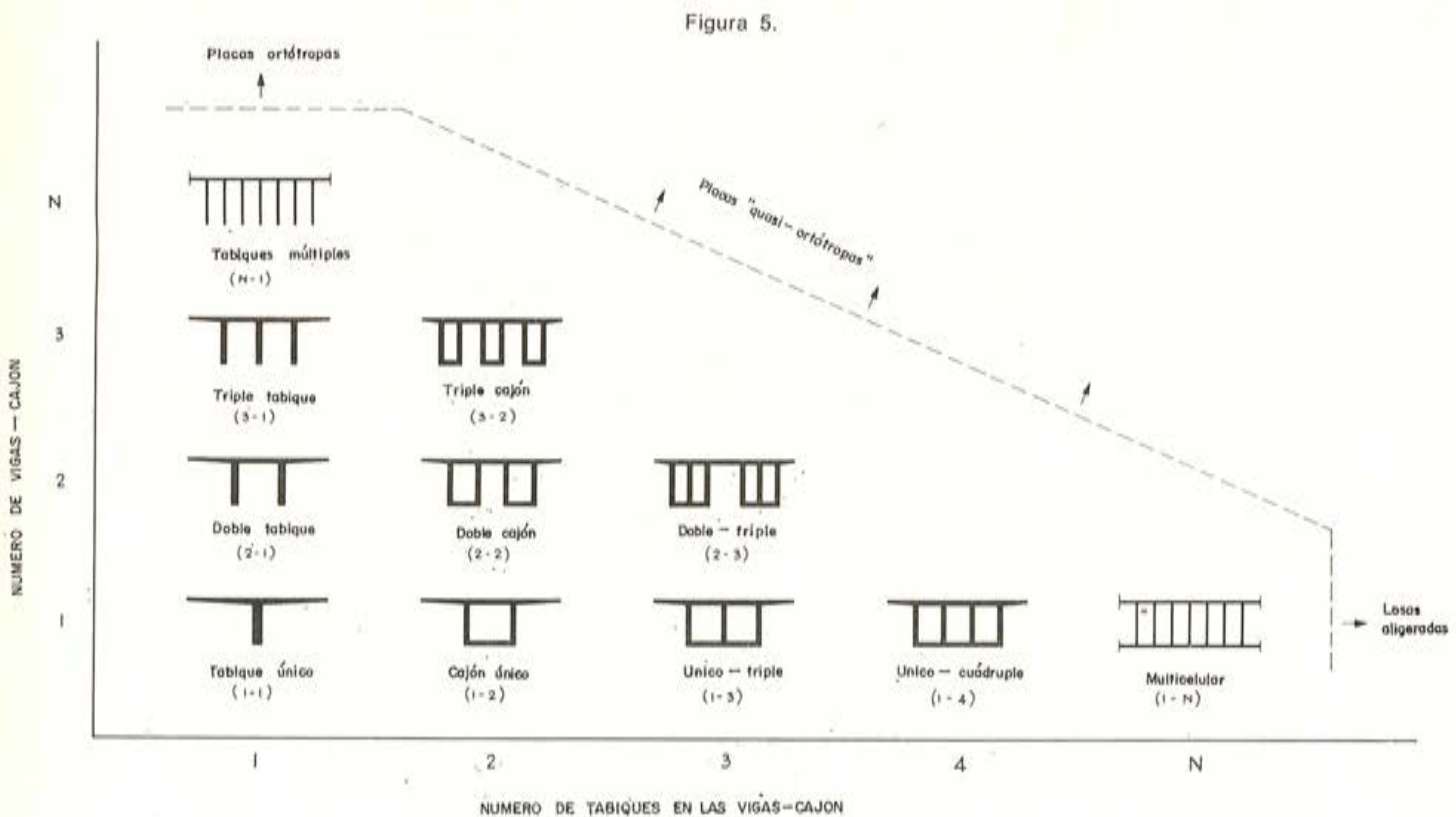
La aparición de esfuerzos longitudinales en el tablero, como resultado del rozamiento, limita la longitud total que es posible dar a la estructura continua. A pesar de todo, en el puente de Mancunian Way, la continuidad se extiende en una longitud total aproximada de 1.000 m, y en el Westway existen dos secciones de casi 1.350 m de longitud. Estas grandes longitudes ayudan a distribuir las fuerzas centrífugas y los esfuerzos de frenado, y además mejoran las condiciones de rodadura al eliminar las juntas de dilatación que, generalmente, plantean difíciles problemas de instalación y conservación.

En el otro extremo de la escala se encuentran los tramos cortos a base de vigas simplemente apoyadas, cuyos corrimientos se permiten sobre cada pila. La junta real se sella con una membrana de plástico que permite giros y corrimientos. Sobre ella se extiende la capa de asfalto continua que, en ocasiones, se corta con sierra para transformar las eventuales fisuras irregulares de la superficie en una bien perfilada línea de junta.

## ESTRUCTURAS

En muchas carreteras elevadas, en las que los tramos no son muy largos y las curvas en planta no son muy cerradas, la construcción del tablero se realiza a base de vigas "tipificadas" de sección en I o T invertida. La luz máxima de los vanos, en estos casos, viene limitada, generalmente, por la necesidad de que el tamaño de las vigas prefabricadas sea tal que permita realizar su transporte y colocación con facilidad. Pero también, con frecuencia, el límite superior práctico en este tipo de estructuras viene impuesto por las posibilidades resistentes de los apoyos. Estructuralmente, el máximo esfuerzo cortante se produce sobre la cabeza de las pilas cuyo dintel tiene que ser calculado para que sea capaz de soportar la carga de las vigas longitudinales que en él concurren por ambos lados. Mientras para luces moderadas esto es factible, en el caso de vanos más largos no se puede conseguir sin aumentar exageradamente el canto del dintel o sometiéndolo a un esfuerzo de pretensado muy elevado.

Tanto las estructuras compuestas como las estructuras metálicas embebidas en hormi-



gón se han utilizado en algunos casos para aumentar la capacidad portante de elementos cuyo tamaño venía impuesto y no podía ser sobrepasado.

Se han utilizado también losas macizas o huecas, tanto hormigonadas in situ como prefabricadas; si bien estas losas son frecuentemente de hormigón armado y no de hormigón pretensado.

Cuando los vanos son demasiado grandes para permitir una solución económica a base de losas macizas, las estructuras constituidas por vigas cajón pueden proporcionar una solución racional a muchos de los problemas inherentes al proyecto de las carreteras elevadas.

Estas vigas cajón suelen ser mono o bicelulares, con voladizos laterales. Existen varios ejemplos de estructuras de este tipo, y algunas de ellas, en general las de mayores luces, se construyeron utilizando bien vigas o bien dovelas prefabricadas (fig. 5).

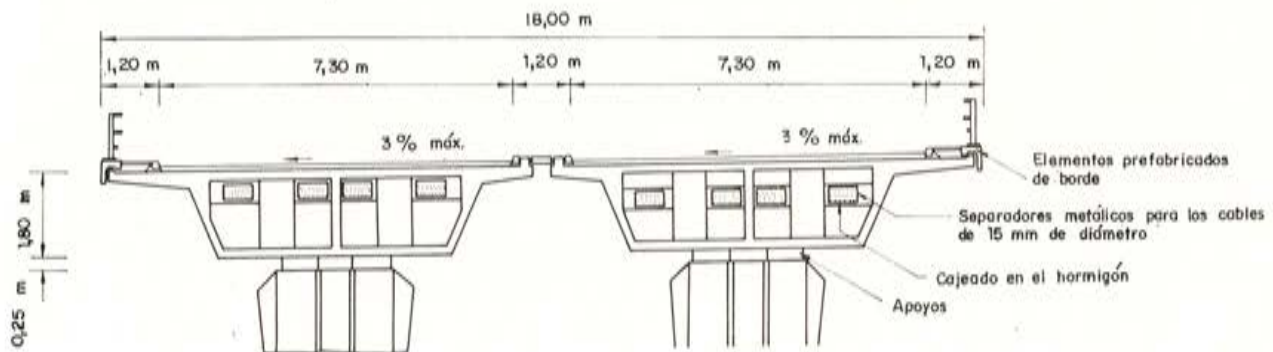
### CONSTRUCCION POR DOVELAS

La técnica de la construcción por dovelas se emplea frecuentemente en Inglaterra en las carreteras elevadas. Algunas de las ventajas de este método son comunes a la construcción con vigas prefabricadas normales. Así ocurre, por ejemplo, en lo que se refiere a la posibilidad de ir preparando un amplio acopio de piezas iguales, prefabricadas en condiciones óptimas, mientras se llevan a cabo los trabajos preliminares in situ de cimentación, etcétera. Pero la construcción por dovelas ofrece además ventajas adicionales. Las curvas en planta y en alzado no representan problema alguno, ya que bien las dovelas o las juntas entre ellas pueden hacerse en forma de cuña.

Para conseguir el necesario peralte en las curvas, no es necesario fabricar las dovelas alabeadas, sino que aquél se puede lograr simplemente haciendo girar en las juntas cada dovela respecto a las adyacentes. Análogamente, el problema estético y técnico de los diafragmas o rigidizadores transversales se resuelve disponiéndolos en el interior de las vigas en cajón (figs. 6 y 7).

La rigidez torsional de las vigas cajón resulta muy adecuada para su prefabricación por dovelas. En las carreteras elevadas, las dimensiones de la viga cajón son generalmente tales que puede prescindirse de los diafragmas intermedios. Sin embargo, generalmente, suelen ser necesarios para distribuir los esfuerzos cortantes sobre las superficies relativamente pequeñas de apoyo sobre las pilas.

Fig. 6.—Tramos de desvío, en Hendon. Sección transversal.



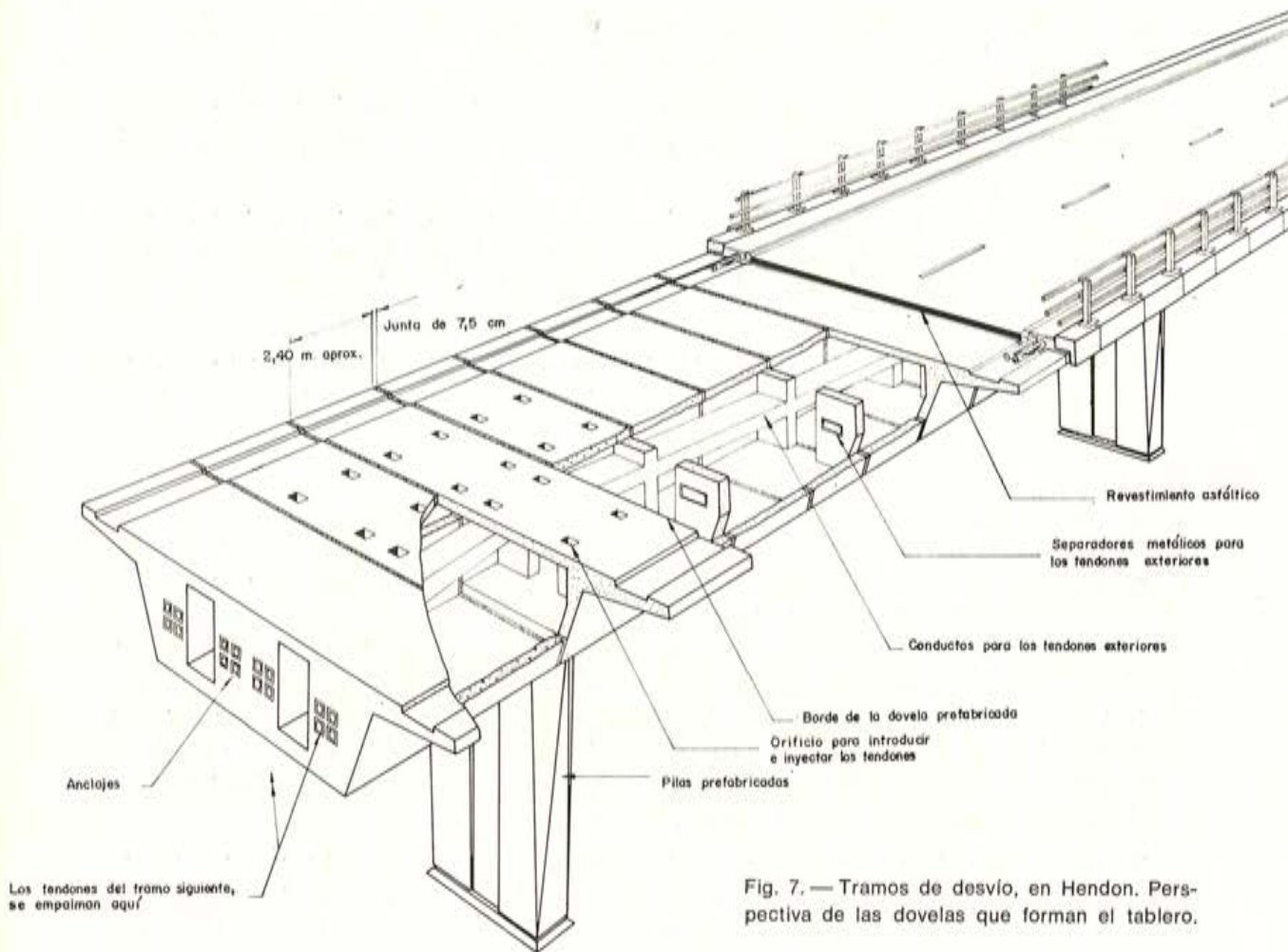


Fig. 7. — Tramos de desvío, en Hendon. Perspectiva de las dovelas que forman el tablero.

La junta de tipo normal entre dovelas está formada por una capa de hormigón fino, de un espesor aproximado variable entre 7,5 y 12,5 cm.

Aparte de los cables de pretensado no hay ninguna otra armadura de enlace entre las dovelas (fig. 8). La absorción del esfuerzo cortante en las juntas se hace, generalmente, por rozamiento o disponiendo resaltos especiales en las caras adyacentes de las piezas prefabricadas. La elección del tipo de junta más adecuado depende de la magnitud del esfuerzo cortante.

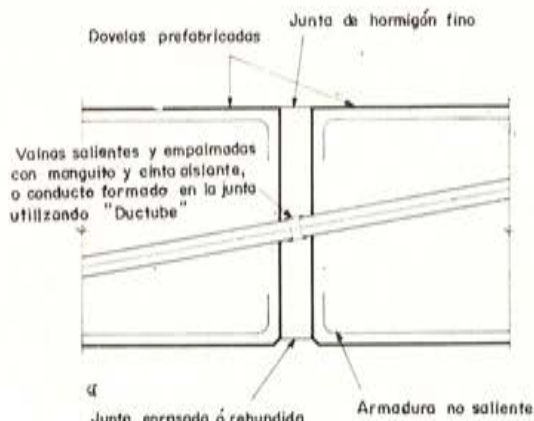


Fig. 8. — Junta entre dovelas.

Las superficies de junta de las dovelas pueden dejarse tal como salen de los moldes, pero en algunos casos se abujardan. Cuando se requieren superficies dentadas, generalmente se utilizan para formarlas tacos de madera, sujetos a las testas de los moldes. Estos tacos no suelen tener más de 1,5 a 3 cm de espesor. Estos resaltos superficiales son es-

pecialmente útiles cuando las vigas cajón están sometidas a tensiones de torsión muy elevadas.

Para poder garantizar un comportamiento correcto de las estructuras por dovelas es imprescindible realizar un cálculo elástico coherente y exacto bajo las cargas de trabajo.

No se debe permitir que las tensiones principales de tracción en las distintas secciones del puente sean capaces de abrir las juntas entre dovelas, bajo las cargas de servicio. Este mismo criterio debe mantenerse para cualquier cambio que pueda producirse en el comportamiento de la estructura después de la fisuración e incluso en las proximidades del estado de rotura. En los ensayos, las estructuras por dovelas se han comportado en forma análoga a las estructuras monolíticas debido a que los planos de rotura por cortante y torsión presentan normalmente una inclinación muy distinta a la de los planos de junta.

## ALGUNOS EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS

### Paso elevado de Hammersmith, Londres (figs. 2, 9 y 10).

Esta estructura, terminada en 1961, fue el primer paso elevado moderno construido en Inglaterra, sobre una sola fila de pilas centrales. En ella se presentan muchas de las principales características técnicas de las carreteras elevadas inglesas.

Es una estructura construida por dovelas de sección variable, de 680 m de longitud total distribuidos en 16 tramos de 46 m de luz, generalmente. Se construyó por el sistema de "tramo por tramo" y lleva una única junta de dilatación en el punto medio; cada mitad va anclada en el estribo extremo correspondiente.

La rigidez torsional de la sección en cajón adoptada, deducida de los ensayos sobre modelo realizados, demostró el ahorro que representa combinar la resistencia a torsión y flexión en un solo elemento estructural.



Figura 9.



Figura 10.

### Mancunian Way.

Esta estructura elevada consta de 32 tramos, de hormigón pretensado, de los cuales 28 son tramos tipificados de 35 m de luz. Dentro del conjunto del puente, los principales tramos están calculados para una velocidad de 60 km/h con curvas de 500 m de radio mínimo y una pendiente máxima del 4 por 100. Dos rampas curvas intermedias de acceso, tienen un radio mínimo de 36 m y una pendiente de hasta 5,25 por 100 con el fin de reducir todo lo posible entorpecimientos en el tráfico al nivel del suelo.

La estructura principal está constituida por dos vigas cajón huecas, gemelas, cuya losa superior vuela por ambos lados (figs. 11, 12 y 13). Las alas adyacentes de las dos vigas pa-

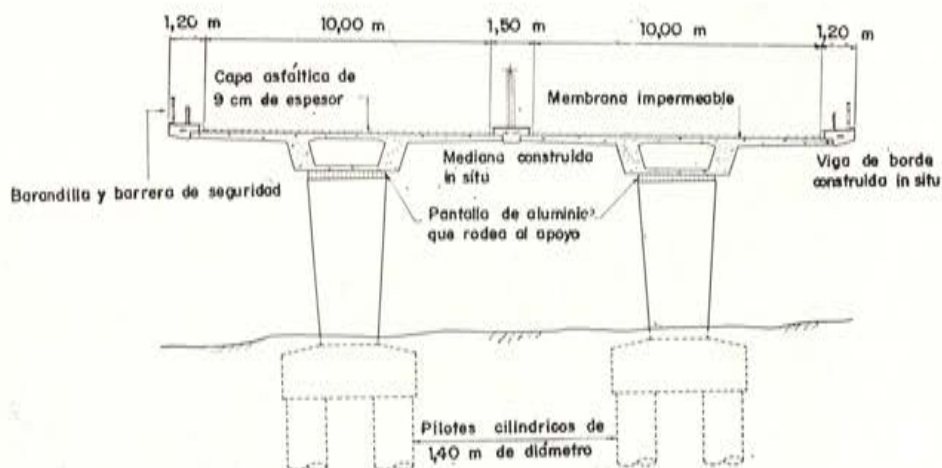


Fig. 11. — Paso elevado de Mancunian Way, en Manchester. Sección transversal de la estructura con doble calzada de tres carriles.

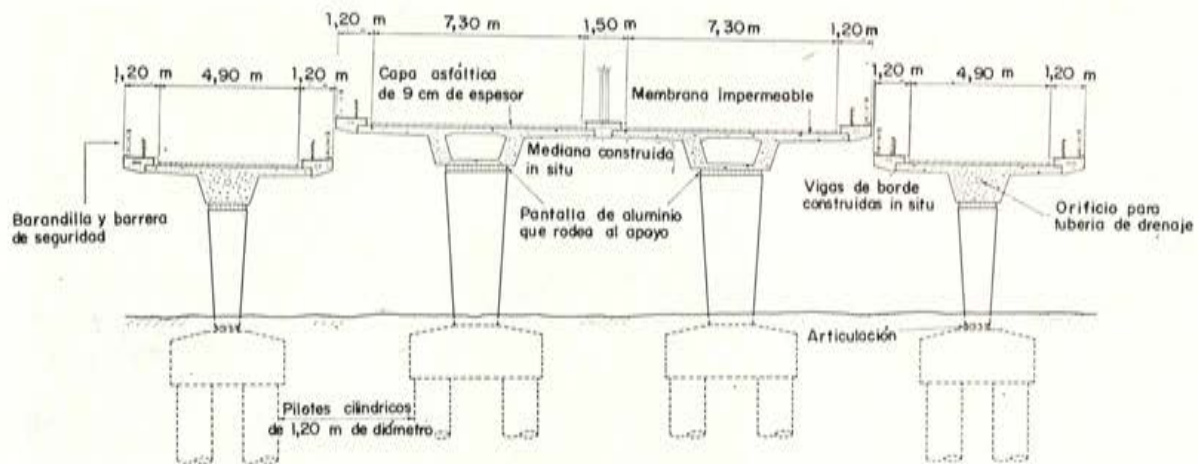


Fig. 12. — Paso elevado de Mancunian Way, en Manchester. Sección transversal de la estructura con doble calzada de dos carriles y rampas de acceso.

ralelas quedan unidas por una mediana de hormigón construida in situ. Cada una de las vigas cajón se apoyan sobre pilas independientes coincidentes con su eje longitudinal.

Más del 85 por 100 de la superestructura se construyó a base de dovelas prefabricadas de hormigón, de sección transversal uniforme, unidas mediante juntas hormigonadas in situ y solidarizadas entre sí por un pretensado longitudinal. El hormigonado in situ se ha utilizado únicamente para los enlaces con las rampas de acceso y las juntas entre los tramos con calzadas para dos y tres carriles. Una de las particularidades del proyecto es que la superestructura es totalmente continua a lo largo de sus 1.080 m de longitud. Toda ella va montada sobre apoyos deslizantes de p.t.f.e. (fig. 4) situados en la coronación de las pilas de hormigón armado. Las pilas de las rampas de acceso, proporcionalmente más pequeñas, están proyectadas como soportes-bielas articulados en sus extremos superior e inferior.

La estructura completa está anclada en las dos rampas de acceso situadas, aproximadamente, a la mitad de la longitud del puente (fig. 14). Estas rampas actúan, por tanto, como verdaderas riostras inclinadas para sujetar los 32 tramos longitudinales continuos, además de servir como tramos intermedios de acceso. Juntas de dilatación existen solamente en los estribos extremos del puente y en los estribos de las rampas intermedias.



Figura 13.



Figura 14.



Figura 15.

Los tramos normales, de 35 m de luz, están constituidos por 14 dovelas prefabricadas, de 2,54 m de longitud cada una, con juntas de 7,5 cm de anchura hormigonadas in situ (fig. 15).

Las dovelas prefabricadas se colocaban primero sobre una cimbra provisional, en tanto no se hormigonaban las juntas y se introducía el pretensado. Los cables de pretensado eran del tipo PSC "multi-strand" constituidos por 12 alambres de 15 mm (0,6 pulgadas) de diámetro. Iban alojados en vainas dispuestas en las almas de las vigas cajón. Cada tramo lleva dos familias de cables, cada una de las cuales se solapa con otra del correspondiente tramo adyacente (fig. 1).

Durante la construcción que, como ya se ha indicado, se hizo tramo por tramo, bastaba con una sola de las familias de cables de pretensado para soportar el peso propio del, en ese momento, tramo de cabeza. Así, una vez tesos y anclados los cables de esta primera familia, la cimbra provisional utilizada para la construcción podía ya avanzar para proceder al montaje del tramo siguiente, sin necesidad de tener que esperar a concluir el tesado de la segunda y última familia de cables.

Los dos tramos cortos, de 20 m de luz, se construyeron parcialmente in situ en hormigón armado, manteniendo, no obstante, la continuidad con el resto de la superestructura principal de hormigón pretensado.

Un modelo construido a escala 1 : 12 con micro-hormigón de uno de los tramos-tipo para calzada de tres carriles, se ensayó para confirmar el comportamiento elástico de la estructura bajo las cargas normales de servicio, y comprobar si su resistencia era la adecuada para soportar las sollicitaciones máximas previstas.

Se han realizado también otros ensayos, mediciones e investigaciones sobre la estructura real ya terminada por el "Road Research Laboratory" y la "Cement and Concrete Association".

El costo total de la obra fue de unos 500 millones de pesetas, incluyendo explanaciones, cimentación, etc., y el puente fue abierto al tráfico a principios del año 1967 (fig. 16).

Figura 16.





Figura 17.

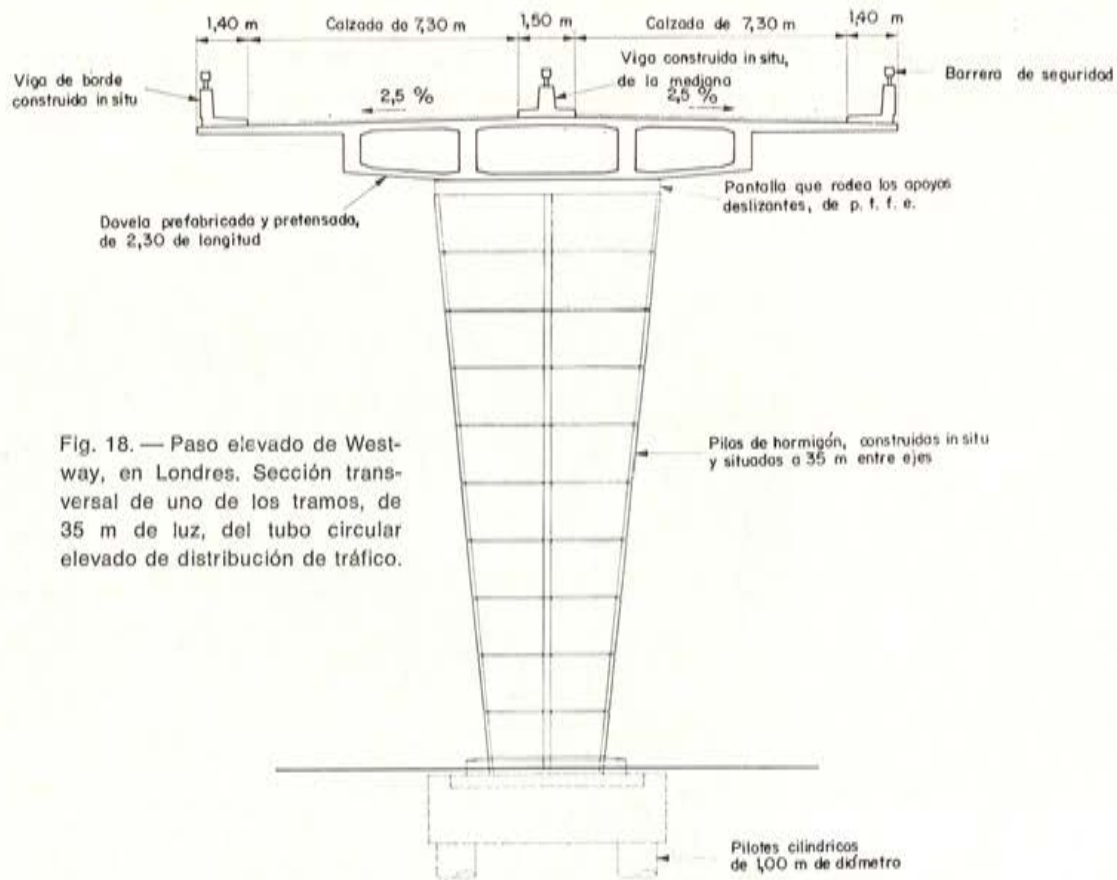


Fig. 18. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal de uno de los tramos, de 35 m de luz, del tubo circular elevado de distribución de tráfico.

## Paso elevado de Westway, en Londres.

El proyecto de esta obra excepcional, contratada globalmente por un importe total de 45 millones de dólares, incluye más de 4 kilómetros de carreteras elevadas.

A casi todo lo largo de su trazado la carretera lleva doble calzada, de 13,50 m de anchura, con tres carriles de circulación cada una, aparte de mediana y arcenes laterales. Hacia el extremo oriental una vía de desvío permite reducir la anchura de las dos calzadas a 10 m, para dos carriles de circulación, con sus correspondientes arcenes laterales y mediana. La carretera está calculada para soportar 45 unidades del tren de carga H.B. (vehículos de 180 t), ya que, en su día, constituirá la red primaria por la cual atravesarán Londres los vehículos de esta clase.

La topografía del terreno y los problemas planteados por la falta de espacio obligaron a construir cuatro tipos diferentes de carreteras elevadas, con tramos de luz variable entre 15 y 62 m. Todos ellos son de hormigón pretensado, aunque también se estudió una solución a base de estructura mixta de acero y hormigón para los tramos de 62 m.

Una sección, de 1.200 m de longitud, está dividida en tramos cuya luz varía entre 27 y 40 m. Esta sección incluye un enlace circular elevado de distribución de tráfico con sus

Figura 20.

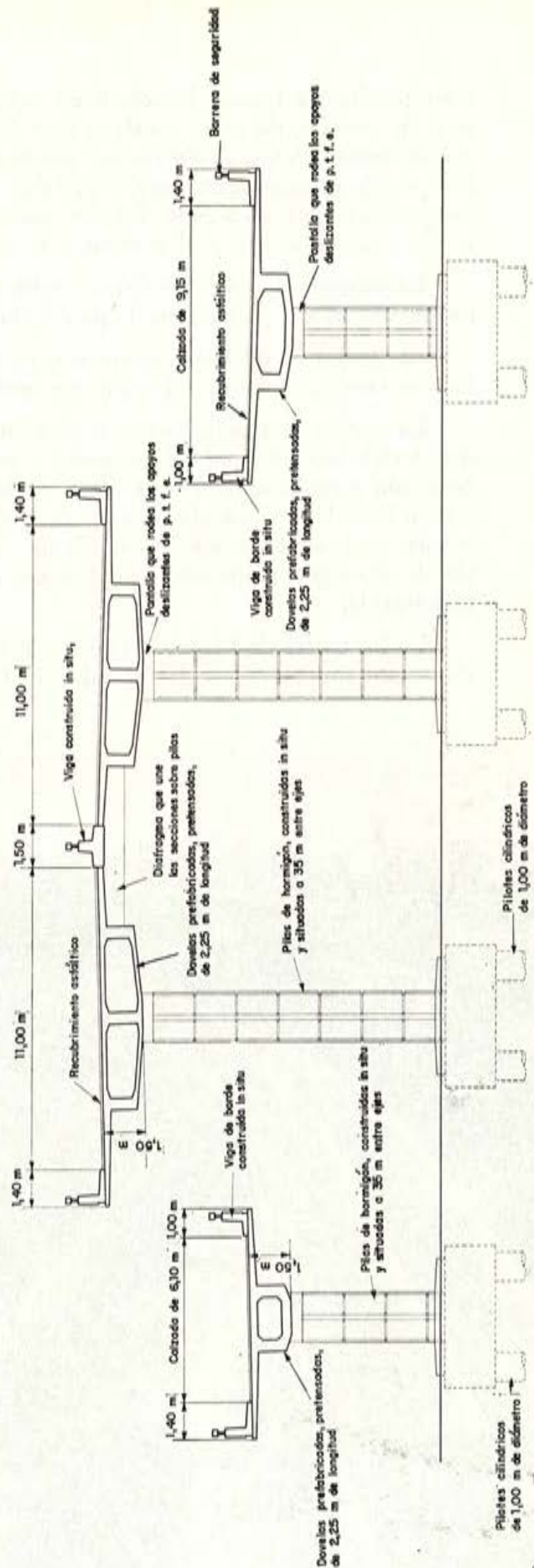


Fig. 19. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal de las estructuras de un tramo de dos calzadas de tres carriles y de los tramos de acceso en rampa.

correspondientes tramos de acceso en rampa (fig. 17). En su construcción se utilizaron una serie de dovelas, de canto constante que forman una viga cajón, con voladizos laterales y pilas únicas centrales coincidentes con su eje longitudinal (figs. 18 y 19). Siempre que fue posible se emplearon dovelas prefabricadas, solidarizadas entre sí mediante armaduras postesas; pero en algunos lugares, incluyendo el enlace circular, hubo que recurrir a la construcción in situ y al postesado de tramo por tramo (fig. 20).

La superestructura se dividió en cuatro partes, que se podían construir independientemente, uniéndolas posteriormente para formar una sola estructura continua.

Las juntas de dilatación se situaron en cada extremo, y el punto focal de movimiento nulo se hizo coincidir con el centro geométrico teórico del enlace circular.

La sección de tramos cortos, de 15 m de luz, tiene 670 m de longitud y queda cerca del costado septentrional del terraplén de un ferrocarril L.T.E. Un muro de contención de hormigón armado sostiene el terraplén y deja un espacio libre bajo la estructura de la carretera elevada para estacionamiento de coches. Parte de este espacio será utilizado para instalar un laboratorio móvil y las oficinas (fig. 21). El tablero está formado por vigas cajón de hormigón pretensado, simplemente apoyadas sobre muros transversales de hormigón armado.

En los cruces de Ladbroke Grove y Portobello Road se están construyendo puentes de tres vanos continuos; los dos laterales de 15 m de luz y el central de 22 m (fig. 22).

La sección más larga, constituida por 19 tramos continuos, generalmente de 62 m de luz, corre en gran parte paralela a las líneas principales de los Ferrocarriles Británicos de la Región Occidental. En una zona su trazado es curvo y cruza, en esviaje, las vías ferroviarias (figs. 23 y 24).



Figura 21.

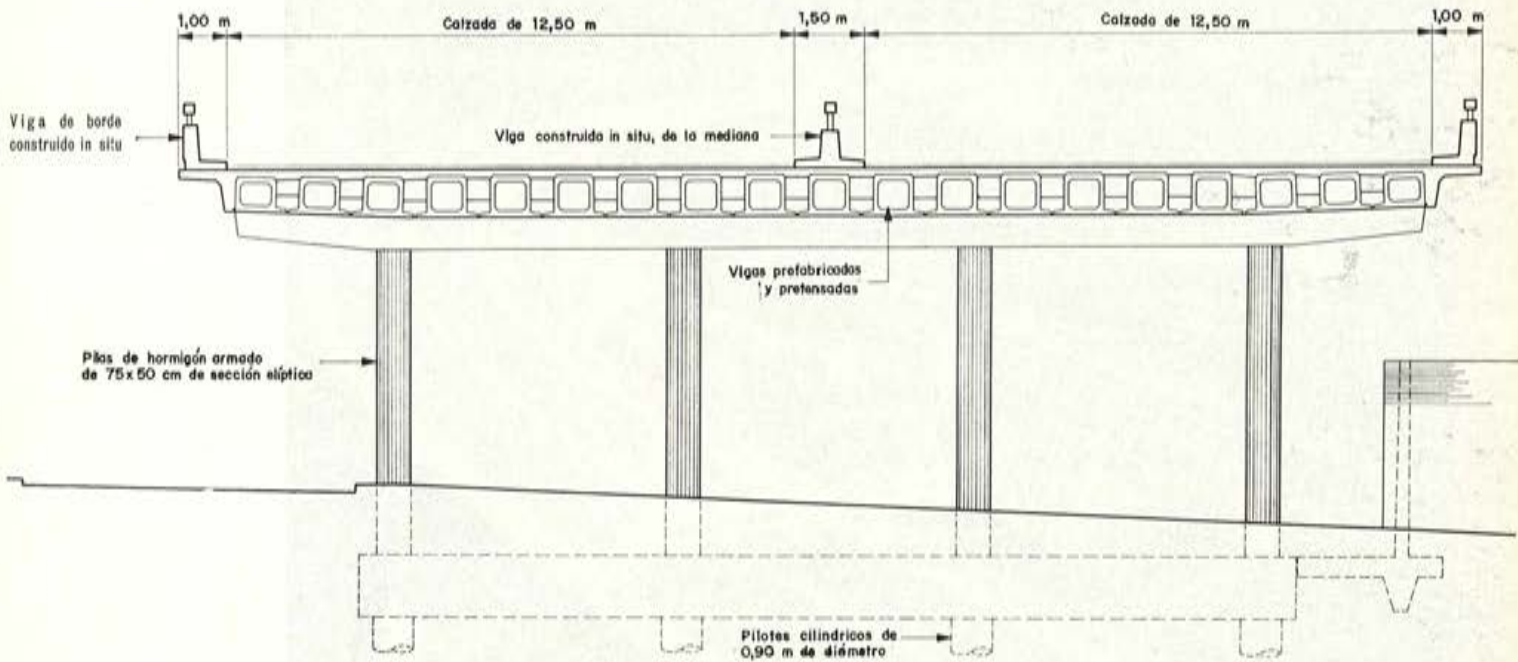


Fig. 22. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal del tramo de 22 m de luz en el cruce de Ladbroke Grove.

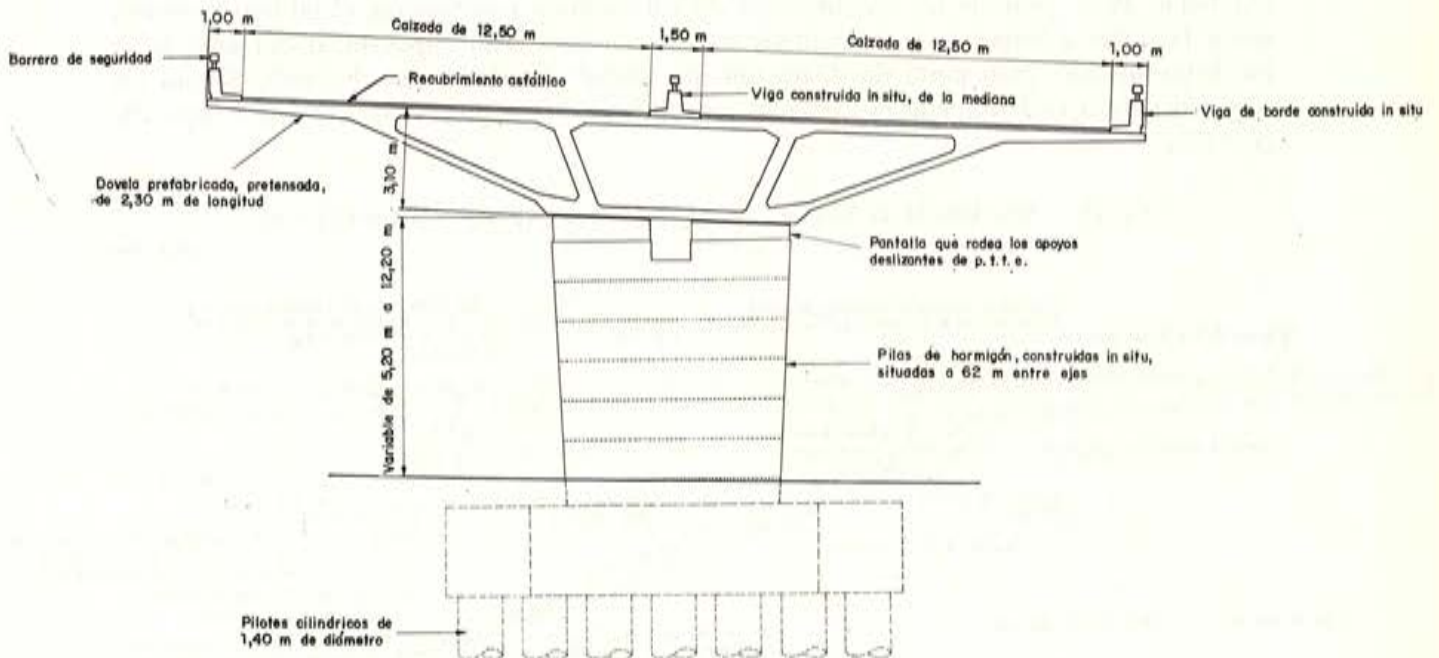


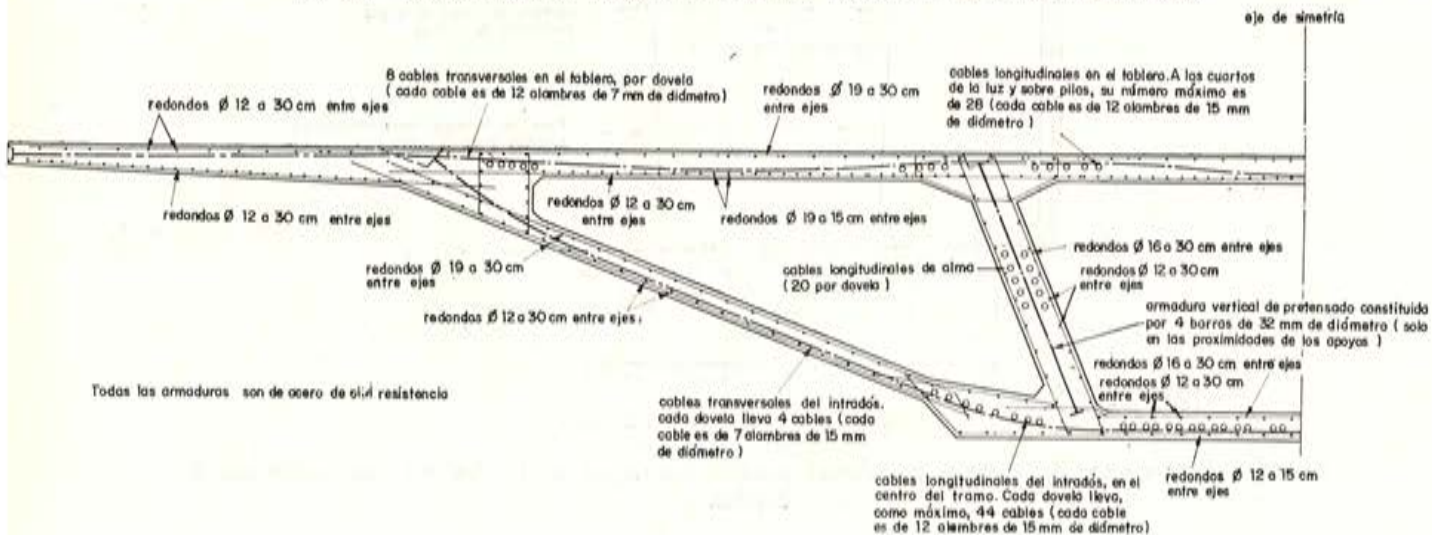
Fig. 23. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal de la viga principal, construida por dovelas.



Figura 24.

El conjunto de esta sección va fijo en uno de sus extremos mediante un potente anclaje capaz de absorber los esfuerzos horizontales reversibles de frenado de más de 4.000 toneladas. Para permitir los movimientos de dilatación y contracción, el tablero descansa sobre las pilas a través de apoyos deslizantes, y en el extremo opuesto al del anclaje se ha dispuesto una gran junta de dilatación que permite movimientos de hasta 60 cm. La superestructura está formada por dovelas prefabricadas que pesan más de 125 t (figs. 25, 26 y 27).

Fig. 25. — Paso elevado de Westway, en Londres. Detalle de una dovela prefabricada.



Dadas las especiales características de este proyecto se estimó necesario realizar ensayos previos sobre modelo. Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación de la "Cement and Concrete Association".

Con el fin de obtener información previa sobre la distribución de los esfuerzos transversales de pretensado se ensayó primero una rebanada, construida en perspex, de la sección transversal de la estructura. Después, se construyó un modelo con micro-hormigón, a escala 1 : 16, para comprobar la distribución de tensiones bajo las cargas de trabajo y poder deducir así el verdadero coeficiente de seguridad de la estructura.

El cuarto y último tipo de estructura se utilizó en la sección situada más al este. Esta sección es bastante compleja e incluye un par de rampas de cambio de sentido y algunos tramos con calzadas a dos o tres niveles (figuras 28 y 29).

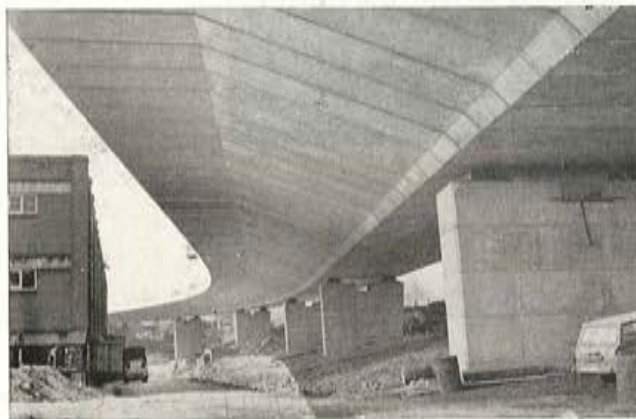


Figura 26.

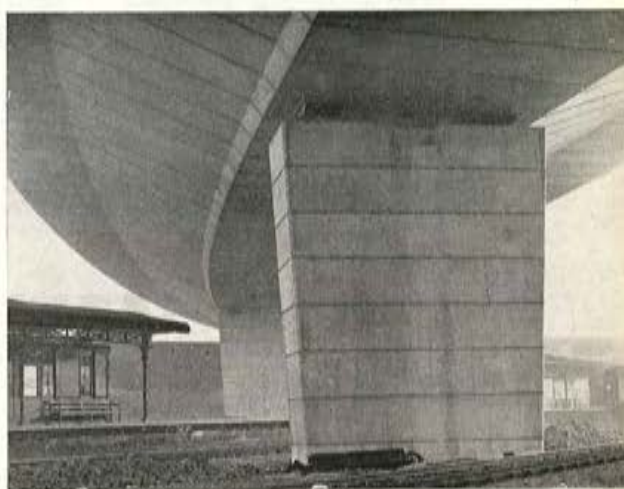


Figura 27.



Figura 28.



Figura 29.

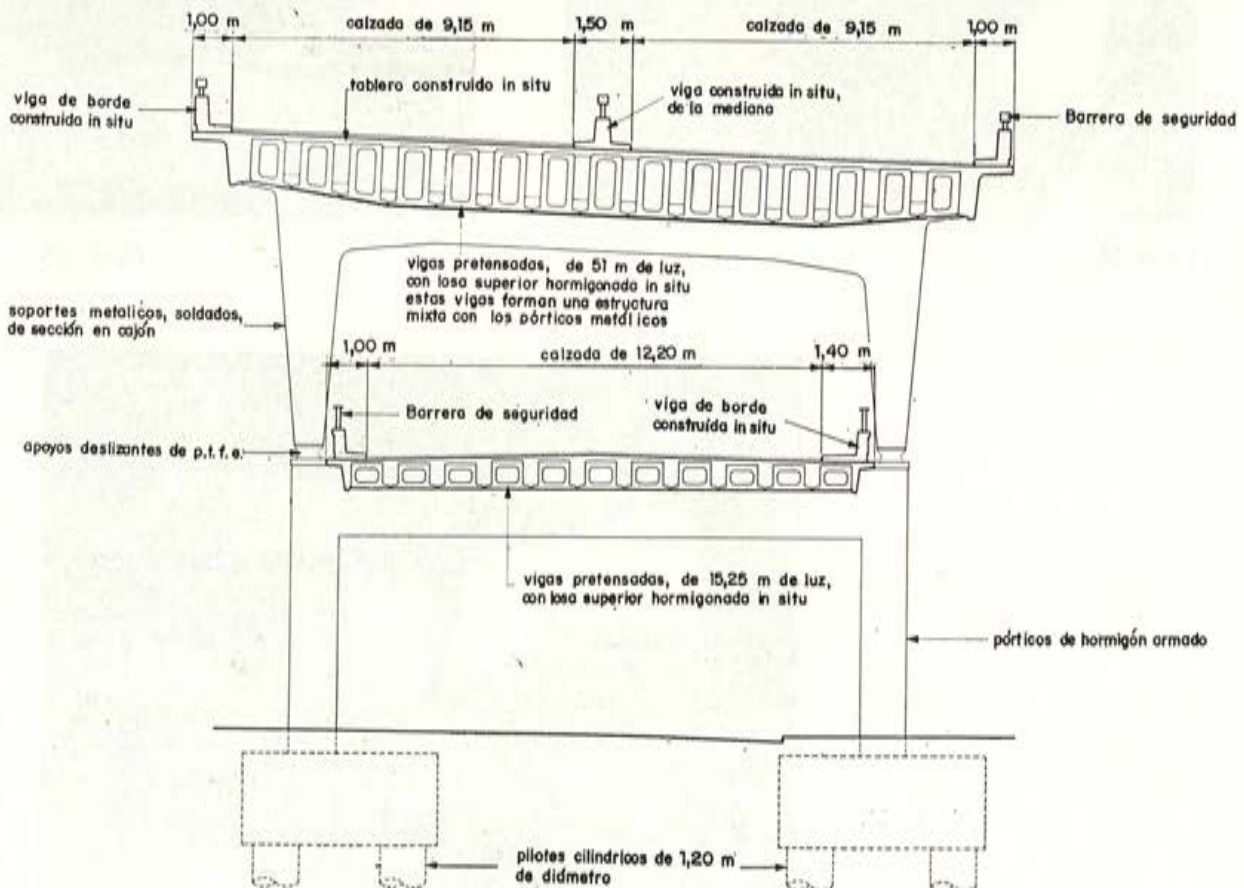


Fig. 30. — Paso elevado de Westway, en Londres. Sección transversal de la estructura con tablero doble.

La estructura superior principal está constituida por vigas cajón de hormigón pretensado, generalmente de 30 m de luz, apoyadas en pórticos metálicos de luces transversales variables para ajustarse a las exigencias del tráfico y las diversas construcciones existentes al nivel del terreno.

Un tipo similar de estructura se utilizó para las rampas de acceso desde el nivel del terreno a la calzada del paso elevado, pero en este caso los apoyos metálicos se reducen a simples soportes y las luces son, aproximadamente, de 21 m (fig. 3). La estructura se divide en dos tramos continuos, limitados por juntas de dilatación situadas en los extremos de la sección y en un doble pórtico que coincide, aproximadamente, con la mitad de la longitud total de la sección de 1.000 m. El tramo de 51 m de luz en esviaje que cruza el canal "Grand Union" se construyó con vigas cajón de hormigón pretensado, con tablero superior hormigonado in situ (fig. 30).



Figura 31.

Los pórticos metálicos transversales forman una estructura mixta con el tablero longitudinal del paso elevado. Por tanto, su esbeltez bajo la acción de la sobrecarga viene dada por la suma de los cantos del dintel del pórtico y del tablero. Como la superficie de contacto entre el acero y el hormigón queda situada en la zona de tracciones originadas por la flexión, ha tenido que idearse un tipo especial de conectores, a base de barras pretensadas, para absorber los esfuerzos rasantes (fig. 31). Con el objeto de comprobar el comportamiento de la solución adoptada para la construcción de esta sección mixta, se ha ensayado en el "Imperial College" de Londres un modelo a escala 1 : 3. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios.

#### Viaducto de acceso al puente "West Gate".

Los viaductos de acceso de este puente comprende cerca de 1.500 m de vigas cajón de hormigón pretensado, formando tramos normales de 67 m (fig. 32). El acceso occidental consta de 10 tramos y 13 el oriental. Ambos tienen trazado curvo en planta, de 1.380 metros de radio el del lado oeste y 880 m el del este. La solución en hormigón pretensado

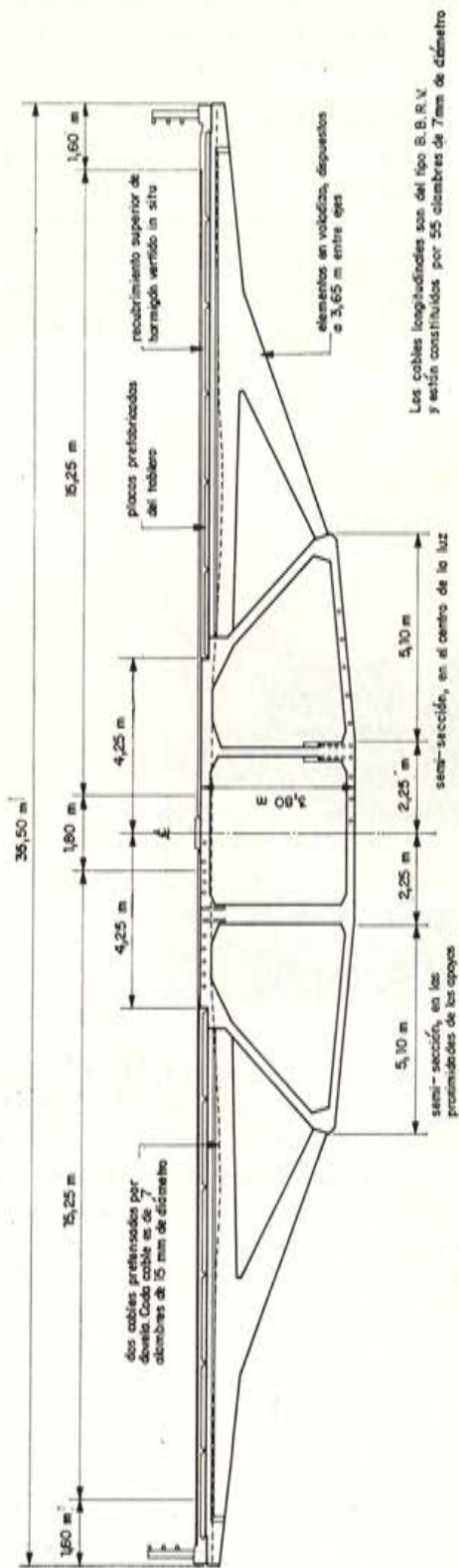


Fig. 32. — Viaducto de acceso al puente "West Gate". Sección transversal de la estructura del tablero.

adoptada para esta estructura presenta algunas características especiales. También es original el método constructivo utilizado.

El tablero, relativamente ancho, permite ocho carriles de tráfico más una mediana y barreras laterales de seguridad. Su anchura total es de 35,50 m. La viga cajón monocelular que forma la superestructura va apoyada en una sola fila de pilas centrales.

Los estudios comparativos efectuados demostraron que el proyecto adoptado resulta económico a pesar de la gran anchura del tablero. Por otra parte, para el trazado en planta curva, la solución elegida a base de una única viga sobre pilas centrales presenta grandes ventajas desde el punto de vista estético.

Se ha podido comprobar que para conseguir un resultado económico era preciso independizar totalmente, desde el principio, la construcción de la viga principal central de la colocación de los elementos que forman la losa del tablero y las alas en voladizo.

Además, a la viga principal se le ha dado una forma poco corriente, gracias a lo cual los momentos secundarios resultantes son sólo del orden del 3 por 100 del máximo momento de cálculo, debido a la baja posición de su eje neutro.

La viga principal es autoportante bajo la acción del pretensado introducido en la primera fase. De este modo se mantiene reducido a un valor mínimo razonable el peso que debe soportar la cimbra durante la construcción y se puede realizar un montaje rápido de la estructura.

Los momentos flectores debidos al peso propio se calcularon partiendo de la hipótesis de que la ejecución se realizaría por el procedimiento de "tramo por tramo", suponiendo que cada tramo habría de volar 17 m a contar del borde de la pila. Los momentos flectores varían progresivamente, a medida que se van añadiendo los voladizos laterales y las losas del tablero. Después se introduce la segunda fase del pretensado longitudinal, con lo que se modifican los momentos secundarios. Una vez terminada la estructura, las

cargas originadas por la capa de revestimiento de la calzada, las barandillas, etc., junto con los efectos de las sobrecargas y los asientos diferenciales, originan nuevos momentos que se suman a los de peso propio para producir la envolvente de momentos flectores final.

La máxima torsión en la viga principal se produce bajo la combinación de la excentricidad del peso propio debida a la curvatura horizontal de la estructura, la excentricidad de la sobrecarga y la sobrecarga de viento.

El empuje transmitido por el lado inferior del triángulo del voladizo lateral, bajo la acción de la sobrecarga, comprime la losa inferior del cajón de la viga principal y, como consecuencia, se origina una cierta torsión en las almas laterales. La distribución de las cargas en la viga principal ha sido cuidadosamente calculada y comprobada mediante ensayos realizados sobre un modelo construido con perspex en el "Imperial College".

También se construyó un modelo con micro-hormigón, a escala 1 : 9, de uno de los elementos en voladizo y de tres medias dovelas de la viga principal para su ensayo en la "Cement and Concrete Association".

De esta forma se comprobaron las deformaciones producidas por las cargas de trabajo y se dedujo el mecanismo de rotura de la estructura.

Es de justicia felicitar al personal que ha intervenido en la realización de este programa de ensayos, que ha resultado ser uno de los más útiles e interesantes de los efectuados hasta la fecha.

Finalmente, y ya en la propia obra, se cargó una de las vigas principales completada con sus voladizos para estudiar su comportamiento bajo la acción de los momentos transversales.

## CONCLUSION

Los viaductos de hormigón pretensado o de estructura mixta resultan económicos cuando han de ser continuos, de gran longitud y de trazado curvo en planta, pero su cálculo exige la ayuda de computadores.

Como es lógico, no es posible dedicar a cada proyecto de puente el equivalente de tiempo y dinero que se gasta, por ejemplo, en el proyecto de la estructura de un nuevo avión. Se debe siempre procurar lograr un equilibrio entre el costo de los materiales y el del proyecto y ejecución de la obra. Por otro lado, el programa de construcción de carreteras elevadas previsto para los próximos años permite augurar que será posible llegar a conocer mejor todos los requisitos exigidos para conseguir proyectos más afinados y nuevos tipos de estructuras más avanzados.

En la actualidad resulta ya evidente que el tamaño y peso de las vigas cajón de hormigón pretensado se puede incrementar considerablemente sin detrimento del costo con relación a otros tipos de estructuras y materiales.

## BIBLIOGRAFIA

- HOLLAND, A. D.: "Design standards for prestressed concrete bridges". London, Concrete Society, pág. 7. Cuatro referencias bibliográficas. PCS 8, 1967.
- British prestressed concrete. Prepared for the Fifth F.I.P. Congress, Paris, 1966. London, Prestressed Concrete Development Group, pág. 162, 1966.
- LEE, D. J.: "Bending moments in beams of serial construction". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1967.
- EMERSON, M.: "Temperature movements in the Hammersmith Flyover". Crowthorne, Road Research Laboratory, RRL Laboratory Technical Note No. 33, Febrero 1966.
- CAPPS, M. W. R.: "Temperature movements in the Medway Bridge - Interim Report". Crowthorne, Road Research Laboratory, RRL Laboratory Note No. LN/914/MWRC, Septiembre 1965.
- BASE, G. D.: "Tests on some prototype reinforced concrete hinges". London Cement and Concrete Association, pág. 28. 21 referencias bibliográficas. Research Report No. 17, Mayo 1965.
- MORLEY, L. S. D.: "The analysis of column-supported plates with special application to bridges". Farnborough, Royal Aircraft Establishment, TR 66376.
- LEE, D. J.: "The design of bridges of precast segmental construction". London, Concrete Society, pág. 11. PCS 10, 1967.
- LEE, D. J.: "Elevated road structures". Concrete, vol. 1 núm. 6, págs. 197-200, dos referencias bibliográficas, junio 1967.
- SOMERVILLE, G.; ROLL, F., and CALDWELL, J. A. D.: "Tests on a 1 : 12 - scale model of Mancunian Way". London, Cement and Concrete Association, pág. 47, dos referencias bibliográficas. Technical Report TRA/394, 1966.
- SOMERVILLE, G.; ROLL, F., and CALDWELL, J. A. D.: "Journal of strain analysis". Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, núm. 1, 1965.
- ROWE, R. E., and BASE, G. D.: "Model analysis and testing as a design tool". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 33, págs. 183-199, febrero 1966.
- "Precast box beams form elevated roadway (Mancunian Way)". Engineering News-Record, vol. 177, número 13, 29 septiembre 1966.
- "Elegant design for elevated roads". (Chester Viaduct, Mancunian Way, Western Avenue Extensión.) Engineering, 22 abril 1966.

## **pasos superiores en Madrid**

**R. VALLS GONZALEZ**

La construcción de pasos a distinto nivel, tanto superiores como inferiores, en el interior del casco urbano de las grandes ciudades, es una medida extraordinaria, con la que se pretende crear itinerarios más capaces, que no solamente resuelvan el problema circulatorio en los cruces de las calles y plazas en que se ubican los pasos a distinto nivel, sino que eviten también el embotellamiento de vehículos en las adyacentes, para lograr así una circulación más cómoda y fluida.

Son los pasos urbanos a distinto nivel tema de actualidad que aún tiene encarnizados opositores, y que es objeto de múltiples polémicas, no sólo entre técnicos y urbanistas, sino en la prensa diaria y aun en las tertulias de café, entre los usuarios de la ciudad, que, no sin razón, la consideran como algo suyo.

El número de pasos a distinto nivel construidos o en construcción en Madrid es de diecinueve, de los cuales, once son inferiores y ocho superiores, estas cifras parecen indicar que la solución más idónea para resolver a dos niveles un cruce dentro de la ciudad es el paso inferior, ¿pueden unas simples cifras decirnos cuál es la solución más adecuada?, creemos sinceramente que no, y son, a nuestro juicio, tres tipos de variables los que debemos contemplar a la hora de la elección de solución: Técnicas, económicas y estéticas.

Si tuviésemos solamente que contemplar el aspecto técnico a la hora de elegir una solución a distinto nivel, no habría ninguna duda de que la elección recaería en el paso superior, ya que este tipo de solución permite una mayor diversidad de diseño, una más amplia gama de tipos estructurales y una más fácil acomodación a la presencia en el subsuelo de los diversos servicios de que necesariamente está dotada toda gran ciudad y que pueden prefijar el tipo de solución a adoptar, tal es el caso de los pasos elevados de la Glorieta de los Cuatro Caminos y de la Plaza del Capitán Cortés, donde no era posible la solución de paso inferior, por impedirlo la presencia en el subsuelo y a escasa profundidad de una línea del Metropolitano y otra del ferrocarril, respectivamente.

La segunda variable, la económica, también es favorable a la solución del paso superior, por ser el coste de las obras complementarias mucho menor para un paso superior que para un paso inferior, ya que para la construcción de éste hay que desviar necesariamente todos los servicios existentes en la zona afectada por las obras, lo que requiere la construcción de galerías de servicios para alojarlos y la pavimentación total de la calle en que se ubica el paso, mientras que para la construcción de un paso superior el número de servicios a desviar es mínimo, no siendo por ello necesario la construcción de galerías.

La tercera variable, el aspecto estético, es, a nuestro juicio, el que debe tener mayor peso a la hora de elegir una solución, ya que queramos o no la construcción de un paso a distinto nivel supone una alteración en el entorno urbanístico de la zona de ubicación

del paso, entorno cuya alteración consideramos es mínima con el paso inferior, por lo cual, a pesar de las ventajas técnico-económicas del paso superior, somos decididamente partidarios de la solución inferior, siempre y cuando dicha solución no se vea imposibilitada por la presencia en el subsuelo de obstáculos que lo hagan impracticable.

Vistos los problemas que puede plantear la construcción de un paso a distinto nivel dentro de la ciudad, después de haber analizado, aunque muy brevemente las causas que hacen necesario la construcción de pasos a distinto nivel en las vías urbanas y las variables, a nuestro juicio, fundamentales que deben tenerse en cuenta para la elección de la solución más adecuada, quisiéramos pasar a comentar las características más importantes de dos de los pasos superiores que actualmente se están construyendo en Madrid. Estos pasos superiores están situados en la Plaza del Capitán Cortés y en la Plaza de España.

En la Plaza del Capitán Cortés confluyen las calles de Santa María de la Cabeza, Embajadores y Ferrocarril, lo que hace de la mencionada plaza un punto de conflicto para la circulación rodada, ya que a ella afluye la mejor parte del tráfico que, procedente de cualquier punto de Madrid, tenga como destino Andalucía y Toledo, o la gran zona industrial que se ha desarrollado durante los últimos años en las inmediaciones de las carreteras que conducen a los puntos de destino antes señalados.

La imposibilidad material de adoptar una solución en paso inferior, por estar el subsuelo de la plaza ocupado por el túnel del ferrocarril, que da nombre a una de las calles que confluyen en dicha plaza, hizo necesario adoptar la solución en paso superior, que con dos ramales permitiese los siguientes enlaces:

- Enlace directo sobre la plaza entre ambos tramos del Paseo de Santa María de la Cabeza, para facilitar la salida hacia la carretera de Toledo.
- Enlace directo, también sobre la plaza, entre el Paseo de Santa María de la Cabeza y la calle de Embajadores, para encauzar el tráfico hacia la carretera de Andalucía.

Para realizar estos enlaces se ha dispuesto un ramal principal, según la alineación del Paseo de Santa María de la Cabeza y un ramal secundario, que arrancando del principal, toma la dirección de la calle de Embajadores.

El ramal principal, con una anchura total de 11 m desde su comienzo al arranque del ramal secundario, permite disponer de una calzada para tres carriles de circulación y dos aceras de 0,75 m cada una; mientras que el segundo tramo del ramal principal y el ramal secundario con una anchura total de 8 m son capaces para una calzada de dos carriles de 3,25 m de anchura y dos aceras de 0,75 m.

La estructura es isostática y el tablero está formado por vigas *Preflex* de altura variable entre 1,26 y 1,45 m, para cubrir las diferencias debidas al peralte. En estas vigas apoya una losa de hormigón armado, cuyo espesor normal es de 0,25 m y que varía en las zonas de voladizo entre 0,15 y 0,40 m, en las cartelas de unión a las vigas. Los voladizos tienen una longitud máxima de 2,90 m, que se consigue en la parte curva del ramal secundario, ya que el radio de 100 m exige un sobreancho mínimo de 0,40 m por vía de circulación.

El ramal principal consta de once tramos rectos, de los cuales, los cinco primeros de 20 m de luz están formados por tres vigas de 20 m (fig. 1), con una separación entre ejes de 3,50 m, los dos tramos siguientes, de 40 m de luz están formados por dos vigas de 35 metros de longitud, que apoyan en voladizos de 2,50 m (fig. 2) y con una separación en-



Fig. 1. — Vista inferior de los tramos de 20 m y de tres vigas del ramal principal.



Fig. 2.—Vista de un tramo de 40 m del ramal principal.



Fig. 3.—Vista de los tramos de 20 m y de dos vigas del ramal principal.

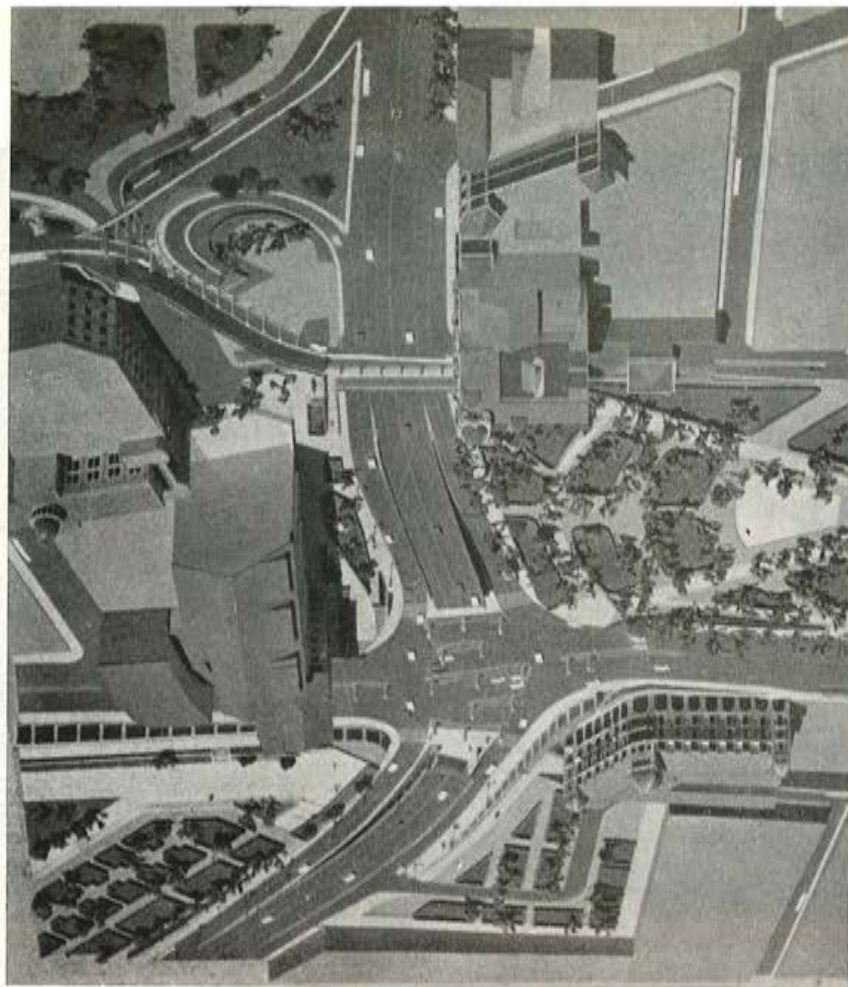


Fig. 4. — Entronque del ramal secundario con el principal.



Fig. 5. — Vista del ramal principal y arranque del ramal secundario.

Fig. 6.—Vista del conjunto del paso inferior de Cañizares y del paso superior desde la calle Ferraz (maqueta).



tre ejes de 4 m, y los cuatro tramos restantes, de 20 m de luz, están formados por dos vigas de 20 m, con separación entre ejes de 4 m (fig. 3).

El ramal secundario consta de seis tramos, de los cuales dos son curvos de 40 m de luz y están formados por dos vigas de 35 m que apoyan en voladizos de 2,50 m y están separadas entre ejes 4 m (fig. 4), y los cuatro restantes, de 20 m de luz, están formados por dos vigas de 20 m, con separación entre ejes de 4 m (fig. 5).

Las pilas de hormigón armado son dobles o triples y de sección constante, hexagonal u octogonal de 0,40 m de lado y de aristas verticales. La cimentación se ha ejecutado mediante pilotes de hormigón armado, realizados in situ de 0,63 m de diámetro y de 15 metros, aproximadamente, de longitud, arriostrados en sus cabezas mediante encepados de hormigón armado.

En cuanto al paso a distinto nivel en el cruce de las calles de Bailén-Ferraz, sobre la de Onésimo Redondo en la Plaza de España, la totalidad de las obras pueden dividirse en dos parciales, claramente diferenciadas: el cruce de Ferraz a Bailén sobre la embocadura de Onésimo Redondo, que denominamos "cruce Onésimo Redondo" y el cruce de Cañizares a Irún bajo Ferraz, que denominamos "cruce Cañizares" y que comprende, además de la unión de Cañizares con Irún, el enlace de Cañizares con Ferraz hacia Bailén y el enlace Ferraz a Irún.

Para mejor seguir la descripción se incluye fotografía de planta de conjunto del proyecto (fig. 6).



Fig. 7. — Vista general del paso superior, desde la calle Bailén (maqueta).

Ferraz y Bailén se enlazan directamente con una calzada central de cuatro carriles, dos para cada sentido de circulación desde la esquina de Ferraz-Cañizares hasta la esquina de Bailén con Marina Española (fig. 7).

Para el cruce de Onésimo Redondo se rebaja la superficie actual hasta unos 3 m, para dar por la plataforma inferior resultante el paso directo de Onésimo Redondo a Plaza de España y viceversa, y permitir todos los giros posibles a derecha e izquierda.

Las calzadas de bajada a esta plataforma inferior desde Ferraz y Bailén están compuestas por dos carriles.

Acompañando a la calzada superior directa y a su nivel, se prolonga la cubierta del paso en una plataforma de 4.300 m<sup>2</sup>, que se extiende hasta los cuatro bordes y que servirá para paso superior de peatones y podrá ornarse con jardinería.

Esta plataforma da continuidad visual y de jardines entre la Plaza de España y los jardines de Sabatini, a un nivel poco variable y algo inferior en el centro del paso en los contornos.

La circulación de peatones se da por aceras de anchura variable de 4 ó 5 m, por la parte inferior y por los paseos superiores sobre la plataforma superior.

El elemento principal de la estructura es la cubierta de la plataforma inferior, soporte de la calzada superior y jardines adyacentes, la cual no resulta ni regular en forma, ni en espesor, ni con simetrías, ni aun plana, debido a la gran complejidad de los acuerdos entre alineaciones, que no obedecen a formas geométricas fáciles ni en planta ni en alzado.

En estas condiciones de irregularidad la solución estructural adoptada es la siguiente:  
Acompañando al trazado de glorieta y sobre la parte central del paso se dispone, un llamemos, disco de hormigón armado, de canto variable entre 95 y 100 cm, apoyado sobre los siete pilares que se puedan emplazar en la mediana y las isletas de encauzamiento.

Dos llamados escudos cubren la zona destinada a paso de peatones en los extremos de los estribos de la planta superior. Estos son también de hormigón armado y se apoyan en pilares situados a los lados de los pasos de peatones.

Otros cuatro pilares, dos y dos, se emplazan sobre las medianas y próximos a las embocaduras de Plaza de España y Onésimo Redondo (fig. 8).

Los escudos, el disco central y los pilares de las embocaduras se enlazan entre sí por medio de unas vigas curvas que son de canto variable, por la conjunción de las condiciones geométricas superior e inferior, y que en cierto modo siguen o enmarcan las vías de circulación de los giros a derecha.

De los muros de contorno, en las esquinas, se vuelan unas ménsulas que cubren las



Fig. 8. — Vista de la planta de conjunto del proyecto (maqueta) sin la cubierta del paso inferior de Cañizares, sin la plataforma del paso superior.

aceras y que, con las vigas citadas anteriormente, completan la canalización de los giros a derecha.

El resto de la superficie se cubre con elementos prefabricados, apoyados los de jardines entre las vigas curvas y las ménsulas y los bajo calzada entre el disco y los escudos.

Para los elementos prefabricados se han estudiado las soluciones de vigas de hormigón pretensado, estructura metálica, estructura metálica de sección mixta y vigas *Preflex*, así como la sustitución de los prefabricados por hormigón in situ, habiéndose adoptado finalmente la solución de vigas de hormigón pretensado.

La otra parte de la obra, el cruce de Cañizares se inicia por una rampa de dos carriles emplazada en la calle de Cañizares e independiente de la circulación superior actual por Cañizares que se conserva.

Estos dos carriles, pasando, unidos por debajo de Ferraz, se separan y continúan, uno de ellos ensanchado hacia Irún y volviendo el otro para tomar Ferraz hacia Bailén. Con ellos se eliminan los giros a izquierda de la salida de Cañizares y el tráfico que actualmente pasa por Ferraz, de Cañizares a Irún.

La construcción del paso inferior de Cañizares era muy conveniente para ordenar el tráfico en la Zona de influencia de la Plaza de España y totalmente imprescindible para poder realizar las obras del paso superior de la Plaza de España.

## **pasos superiores de Cuatro Caminos, en Madrid; Zaramaga, en Vitoria y San Pedro de Mezonzo y Primo de Rivera, en La Coruña**

**JAVIER MANTEROLA**

Voy a presentarles a ustedes cuatro pasos superiores, cuyo proyecto ha sido realizado por D. Carlos Fernández Casado, Leonardo Fernández Troyano y por mí. Estos cuatro pasos superiores son: el de Cuatro Caminos, en Madrid; el de Zaramaga, en Vitoria, y los pasos de San Pedro de Mezonzo y el de General Primo de Rivera, en la Coruña.

Antes de presentarles estas obras quiero dar una nota aclaratoria.

Cuando estábamos examinando las diapositivas y estableciendo los comentarios que iba a transmitirles a ustedes, nos dimos cuenta de que las razones con las que justificábamos la solución a que habíamos llegado parecían venir rodadas de la lógica estricta de la obra, como si la solución obtenida era única y además la que nosotros habíamos encontrado.

Automáticamente desechamos esa conclusión. A fin de cuentas, el proyecto que realizamos no era sino nuestra respuesta a un conjunto de problemas, que por un lado nos planteaba la administración y, por otro, a los que nosotros mismos nos hemos ido planteando a lo largo de los años que llevamos enfrentándonos con el problema del puente.

De esa problemática común sale la forma del puente. Se revisa, se discute, se hacen maquetas si la losa no parece clara en el papel. Ni siquiera se hacen explícitas en el momento todas las consideraciones que después de una manera deductiva se sacan de la obra ejecutada y que de alguna manera estaban presentes en el momento de proyectar. Tampoco sé si existe una correspondencia biunívoca entre lo presentado y lo deducido.

Estos razonamientos nos llevaban a dos posibilidades de presentarles las obras. La primera consistiría en proyectar un conjunto de diapositivas, sin hacer comentario alguno y que cada uno de ustedes sacase las consecuencias que les pareciese. La segunda, exponerles las que nosotros habíamos llegado siquiera por la mayor validez que pueden tener al conocer los presupuestos que estaban en nuestra mente al proyectarlas.

Hemos optado por esta última. Pero sin que ello quiera decir, ni mucho menos, que nuestra propuesta es la única válida por la lógica deductiva que pueda ofrecer.

Y pasemos a la primera de las obras. ◊

### **PUENTE DE CUATRO CAMINOS**

El puente de Cuatro Caminos pertenece al 2.º Cinturón de Ronda de Madrid, y sirve para unir las calles de Raimundo Fernández Villaverde y Reina Victoria, por encima de la glorieta de Cuatro Caminos.

Tanto su localización en planta, como el trazado vial fue propuesto por el Ayuntamiento de Madrid como bases para un concurso de proyecto-construcción ganado por los autores del proyecto junto a la empresa Huarte y Cía. La dirección de obra a corrido a cargo del ingeniero Sr. Rodríguez de Valcárcel.

La glorieta de Cuatro Caminos se encuentra situada en el punto más alto de las alineaciones de las calles Raimundo Fernández Villaverde y Reina Victoria. Esta condición aconsejaba que el paso a desnivel fuese inferior, pero la existencia en el subsuelo del Metro obligó a las bases del concurso a plantear el paso superior.

Con estas condiciones dispusimos el paso con siete vanos de 16, 22, 22, 32, 22, 22 y 16 metros, junto con dos rampas de acceso de 105,6 m, en la calle de Reina Victoria, y 127,00 metros, en la de Raimundo Fernández Villaverde.

Se estableció un dintel continuo salvando las luces citadas con una anchura total de 16 m, dividida en dos calzadas de 6,5 m, dos aceras de 1,00 m y una mediana de 1,00 metro.

Para el planteamiento del dintel partimos de la condición de reducir al máximo el efecto pared que supone para el tráfico frontal un dintel situado a 4,5 m de altura. Con este fin, dispusimos la sección transversal, con espesor variable desde 1,2 m en el centro a 0,20 m en los bordes laterales en transición poligonal. El dintel actúa a la manera de encauzador de la visión del conductor en su paso bajo el puente, presentándole el mínimo obstáculo visual, a la vez que determina una relación adecuada entre zona maciza del dintel y altura a que está situada (fig. 1).

La dimensión resistente del tablero determina la pila única, situada en el centro de la sección transversal, como solución adecuada de soporte después de lo dicho sobre la forma dada a la sección transversal. Presenta además la ventaja de facilitar las maniobras de giro propias del tráfico rodado de una plaza, y reduce al máximo el obstáculo frontal al vehículo que circula en dirección paralela al eje del paso y por la parte inferior. La versión de este concepto sobre el estribo determina a su vez la forma de quilla con transición gradual de anchura hasta alcanzar la correspondiente a los muros de las rampas de acceso.

El dintel mismo no se interrumpe bruscamente al llegar al estribo, sino que va reduciéndose gradualmente hasta llegar al reborde de los muros de acceso que lo llevan hasta el final. Se establece así la continuidad longitudinal entre dintel y estribo desde el principio al final de la obra, lo que acompaña a la curvatura gradual del perfil longitudinal del trazado vial.

Un concepto tan importante en los puentes lineales como es la relación luz libre/altura desaparece aquí totalmente al introducir la tercera dimensión en la configuración dada a la sección transversal del dintel.

• • •

La estructura resistente del tablero es bastante clara si nos fijamos en la forma dada a la sección transversal. La distribución de inercias longitudinales se concentran en el eje del puente, sobre las pilas, de manera que los mecanismos de resistencia a flexión en las dos direcciones, longitudinal y transversal, se independizan bastante, teniendo cada una de ellas una forma adecuada al tipo de trabajo a que van a estar solicitadas. Se convierte en

una viga longitudinal de ancho variable, situada sobre las pilas con una rigidez a torsión considerable y una losa transversal, cuyo trabajo principal es el de ménsula (figs. 6 y 7).

La anchura de las pilas en cabeza se determina por la condición de que la resultante de las fuerzas verticales debidas al peso propio del tablero y a la sobrecarga, cualquiera sea su localización en el dintel, no se salga del espacio situado entre los dos apoyos deslizantes. El ancho de las pilas en el pie puede ser más reducido, pues al estar empotrada en el encepado de pilotes no tienen que cumplir la condición de que la resultante de las fuerzas no se salga de su base.

El dintel se ha pretensado en dirección longitudinal con cables de 150 t, concentradas en la zona de más inercia, y en dirección transversal se ha pretensado con cables unifilares de 1/2 pulgada.

Para determinar el proceso constructivo se tuvo en cuenta la interferencia que podía presentar al tráfico. Para ello, aparte de la ejecución de los muros de las rampas de acceso y las cimentaciones, se dividió la ejecución del dintel en tres fases. La primera consistió en la ejecución sobre cimbra de un tramo formado por los tres vanos laterales de 16, 22 y 22 metros, junto con una ménsula de 7,5 m correspondiente al tramo central. La segunda fase repetía la primera en la otra por parte del puente. La tercera fase se redujo al hormigonado y pretensado de los 19 m que quedaban del tramo central.

Cada una de las dos primeras fases se iba pretensando independientemente y descimbrando a continuación, y la tercera se pretendió estableciendo anclajes de continuidad en los extremos de las ménsulas de las dos fases anteriores (figs. 8 y 9).

Por este procedimiento conseguimos que el tráfico que circula en dirección normal al eje del puente no tuviese dificultades. Otra cosa ocurrió con el tráfico paralelo al puente, pues desde que se empiezan a construir los muros de acceso se ve privado de 16 metros de ancho de calle que disponía antes de comenzarse la construcción.

• • •

La cimentación del puente estuvo rodeada de grandes dificultades por la existencia en el subsuelo del Metro Tetuán-Vallecas y del ramal de este Metro que conduce a las cocheras de Reina Victoria. Del Metro, actualmente en construcción, que pasa por el Cinturón de Ronda y por el ramal del Canal de Isabel II, que pasa por la avenida de Reina Victoria. Además del innumerable conjunto de instalaciones de agua, luz, teléfono y alcantariado (fig. 10).

Pensamos que aún a costa de encarecer la cimentación la disposición de pilas no podía estar guiada, sino por la ordenación que ésta presenta de cara a la plaza y no por la economía conjunta.

Las cimentaciones de las pilas situadas desde el centro de la plaza hacia la avenida de Raimundo Fernández Villaverde están formadas por cuatro pilotes alargados de  $0,85 \times 1,65$  metros, que descienden hasta una profundidad de unos 27 m. El resto de las pilas ven afectada su cimentación por los obstáculos enumerados anteriormente.

La cimentación correspondiente a la pila central del lado de Reina Victoria hubo de realizarse por intermedio de una viga pretensada de 15 m de luz, que descansa por medio de apoyos de neopreno sobre pilotes de 34 m de profundidad (fig. 11).

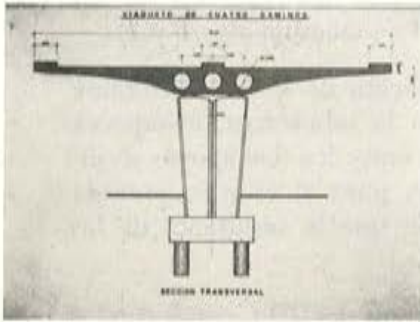


Fig. 1. — Puente de Cuatro Caminos.  
Sección transversal.



Fig. 2. — Vista inferior.

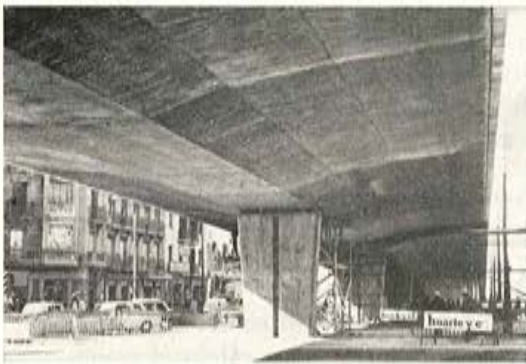


Fig. 3. — Vista inferior.



Fig. 4. — Encuentro del dintel con el estribo.

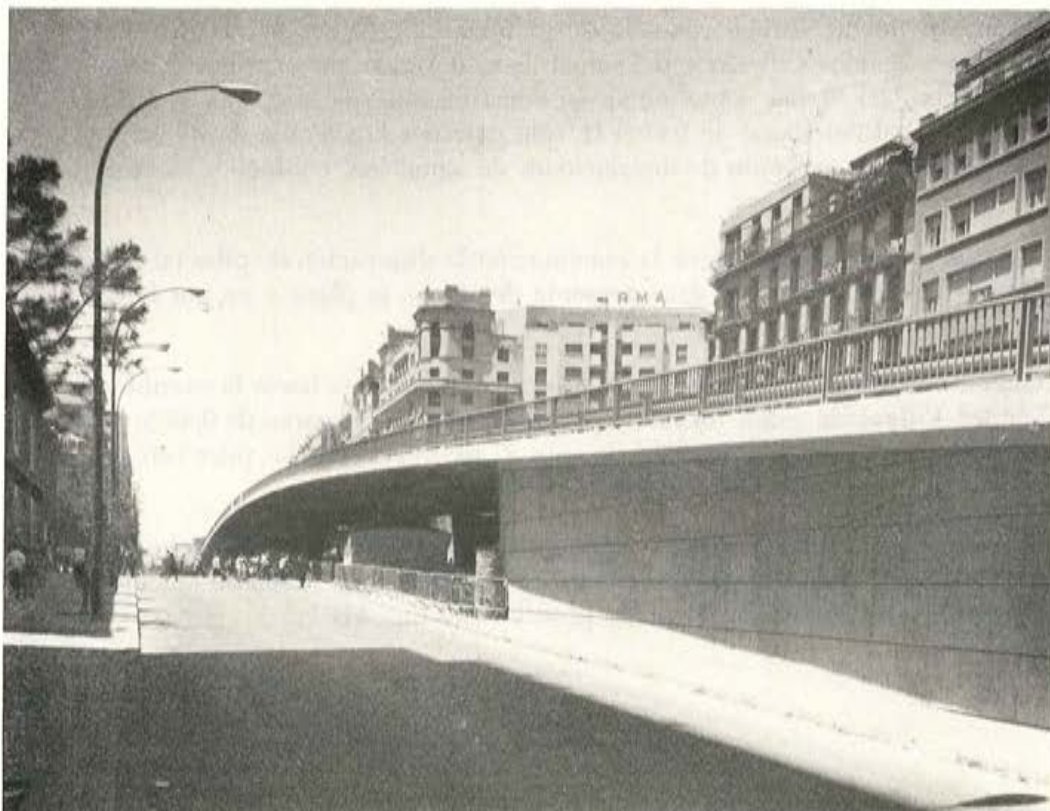


Fig. 5.  
Vista lateral.



Fig. 6. — Aligeramientos y cableado longitudinal del dintel.



Fig. 7. — Anclajes de continuidad y pretensado transversal.



Fig. 8. — Proceso de construcción del puente.



Fig. 9. — Franja de hormigonado posterior para igualar las deformaciones del voladizo transversal en el tablero y estribo.

El estribo del lado de Reina Victoria que se encuentra situado sobre el ramal del Metro que conduce a las cocheras hubo de plantearse como viga de 21 m de luz, la cual se pretensa con cables de 150 t. La quilla del estribo a su vez descansa sobre otra viga pretensada, que se apoya por medio de neopreno sobre los pilotes.

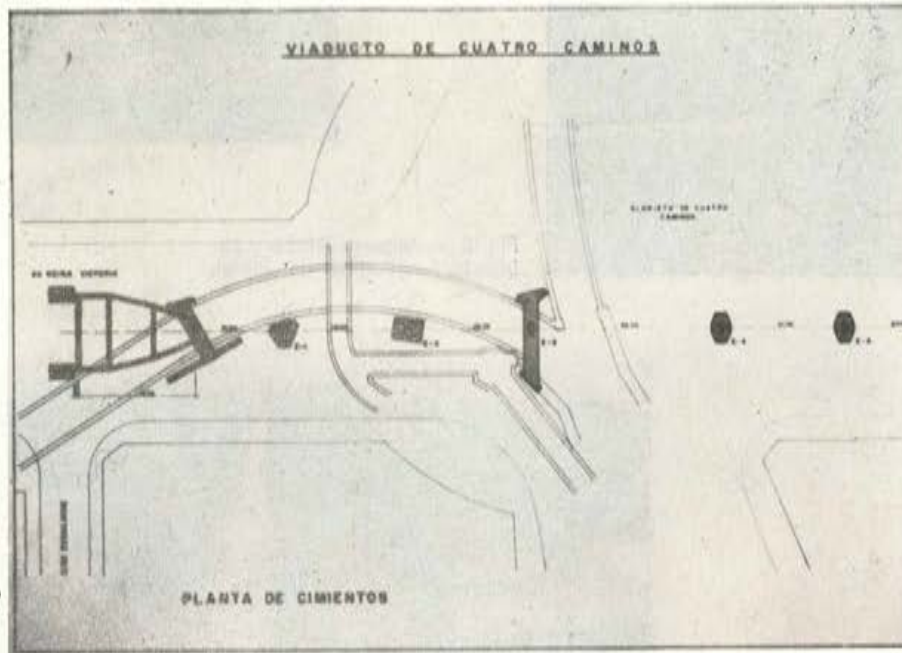


Fig. 10. — Planta de cimentación.



Fig. 11. — Encepado pretensado que sirve de apoyo del frente para salvar el paso del Metro.

## PASO ELEVADO DE ZARAMAGA, EN VITORIA

Este paso superior pertenece al cinturón que empieza a construirse en la ciudad de Vitoria, y ha sido construido por el Ayuntamiento y la Diputación de Vitoria, bajo la dirección de Santiago Alzu, actuando como empresa constructora Caminos y Puertos.

Tiene una longitud total de 475,57 m, correspondiendo 106,58 m y 127,07 m a los tramos de acceso sobre muros, y los 242 m restantes a 10 vanos, 8 de 25 m y los dos extremos

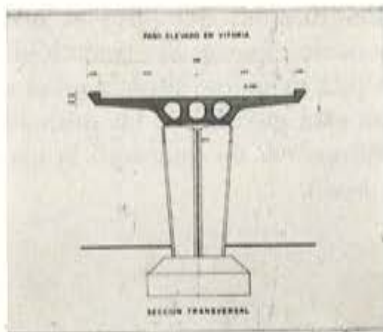


Fig. 12. — Puente de Zaramaga  
Sección transversal



Fig. 13. — Vista inferior.



Fig. 14. — Vista frontal.

Fig. 15. — El primer tramo del puente se encuentra descimbrado y la cimbra ha pasado el tramo siguiente.



de 21 m. La sección transversal tiene 9,8 m de ancho y está formada por una losa trapezoidal aligerada de 3 m en la base y 1,2 m de canto y dos vuelos laterales de canto variable de 0,5 a 0,3 m que completan la envergadura transversal (fig. 12).

La idea seguida en la concepción del dintel es parecida a la seguida en el puente de Cuatro Caminos. Concentrar la rigidez longitudinal en el centro, pero con la diferencia de efectuar la transición de espesores hacia los bordes de una manera más brusca, delimitando claramente los mecanismos de resistencia longitudinal y transversal y ofreciendo al tráfico que cruza por la parte inferior dos superficies de referencia claramente delimitadas e iguales. La formada por el reborde de acera y la correspondiente al núcleo del tablero (figs. 13 y 14).

Conseguimos de esta manera destacar el carácter longitudinal del paso al marcarse más las líneas longitudinales debido a los cambios bruscos de espesor, intención lógica debido a la menor envergadura transversal del paso. La pila es única, situada en el centro del dintel bajo la zona de más rigidez de éste. Su forma está guiada por las mismas razones que en el puente de Cuatro Caminos, pero con la diferencia de que aquí la excentricidad posible de la resultante es mucho menor que en aquél.

\* \* \*

Desde el punto de vista resistente el tablero del puente está dividido por dos juntas de dilatación que determinan tres tramos continuos de 77-75-90 m, cabalgando uno sobre otro a los cuartos de la luz aproximadamente.

El núcleo central se aligera por medio de tres alveolos circulares de 0,90 m de diámetro, los cuales se recortan a efectos de facilitar el cableado longitudinal.

El pretensado longitudinal está compuesto por unidades C.C.L. de 7  $\varnothing$  0,5", y su número es de 22 unidades en los tramos extremos y 26 unidades en los intermedios.

Para recoger el efecto de los voladizos de la sección transversal el puente se arma con ocho redondos de 14 mm de diámetro por metro de longitud y 46 kg/mm<sup>2</sup> de límite elástico convencional (fig. 15).

La construcción de este puente se hace sobre cimbra y subdividiéndose en tres partes, correspondiendo cada una de ellas a los cortes naturales delimitadas por las juntas de dilatación intermedias.

A este tablero no se le ha dado continuidad longitudinal total de un extremo a otro del puente con el fin de evitar el costo elevado de sus apoyos deslizantes de teflón, que serían necesarios en el otro caso, y de eliminar los anclajes de continuidad necesarios a costa de interponer dos puntos de dilatación, que por su escaso recorrido son bastante económicas.

La cimentación ha sido muy fácil por disponer superficialmente de un terreno muy resistente. Tanto los muros de acceso como las pilas son de hormigón armado.

## VIADUCTO DE SAN PEDRO DE MEZONZO

Tanto este paso superior como el de Pri no de Rivera, que vamos a ver a continuación, pertenecen a la nueva vía de penetración de La Coruña. Las obras han sido realizadas

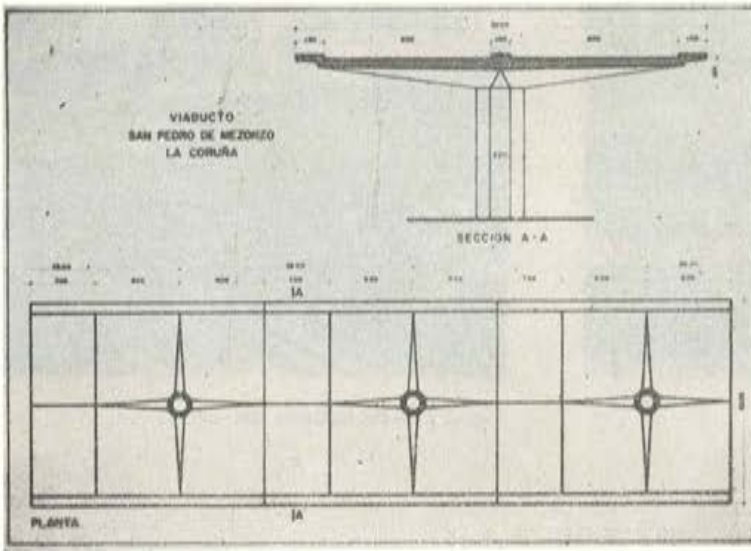


Fig. 16. — Puento de San Pedro de Mezonzo, Planta parcial y sección transversal.

Fig. 17. — Vista inferior.



Fig. 18 — Vista lateral.

Fig. 19. — Vista inferior.

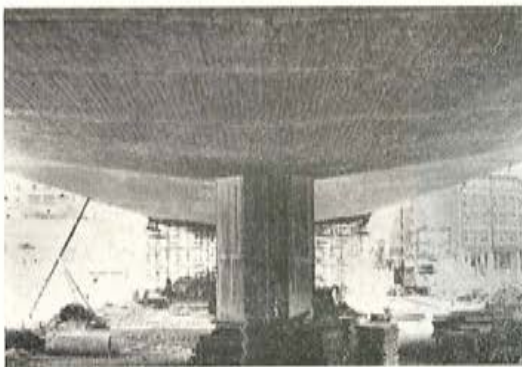
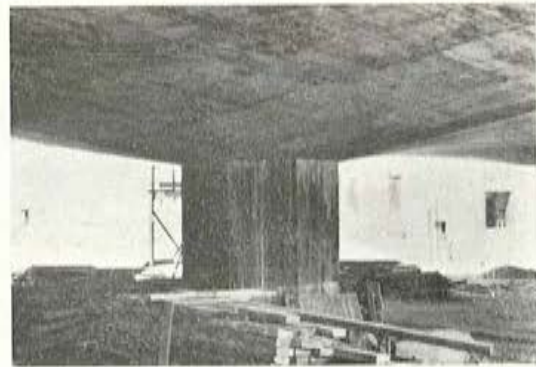


Fig. 20. — Encuentro de pila y tablero.



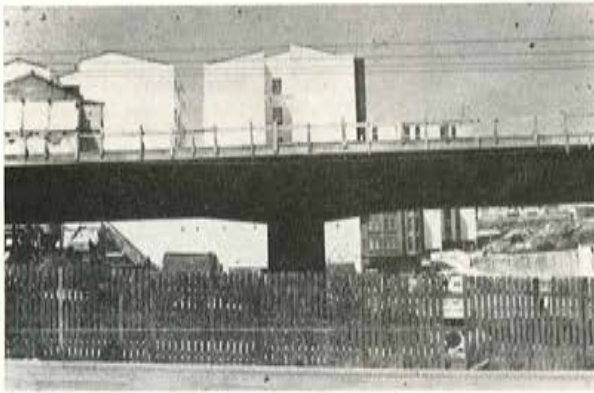


Fig. 21. — Vista frontal del puente.

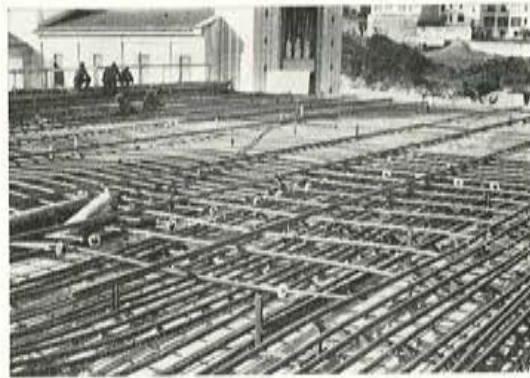


Fig. 22. — Pretensado del dintel.

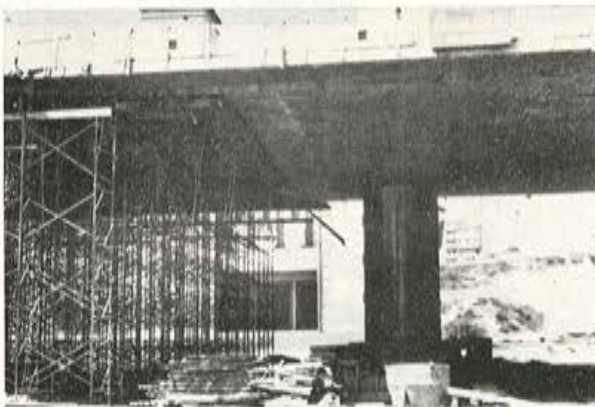


Fig. 23. — La cimbra se halla bajo un "hongo". Después pasará al módulo siguiente.



Fig. 25. — Armadura de pila y encepado en pilotes.

Fig. 24. — Situación intermedia del proceso constructivo.



por el Ministerio de la Vivienda, actuando como directores Pablo Iglesias, Ramón Vidal Artaza, Leopoldo Ridruejo y Felipe Ortega. La construcción ha sido realizada por Helma, S. A.

El viaducto está formado por nueve vanos, siete de 25 m y dos de 16 m de longitud y una anchura total de 22 m, subdivididos en dos calzadas para tres carriles, cada una de 9 m de ancho, dos aceras de 1,5 m y una mediana de 1 m (fig. 16).

La idea que ha guiado la distribución de masas en el dintel parte de la disposición de pila única en el centro de la sección transversal y la distribución de vanos elegidos.

Con esta distribución la relación entre ancho y luz del tablero es 0,88, lo que hace que las flexiones en las dos direcciones, longitudinal y transversal, sean del mismo orden de magnitud (figs. 17 y 18).

La distribución polar de inercias del dintel alrededor del pilar cumple adecuadamente las exigencias resistentes, resultando éste como una expansión del pilar, con el que forma una unidad estructural. La colocación sucesiva de estas células nos da el puente, utilizándose el cabalgamiento de una sobre otra, con el fin de reducir las flexiones longitudinales del pilar.

Esta distribución de masas ha dado lugar al puente "hongo" utilizado por primera vez por Dyckerhorff & Widmann para un conjunto de puentes en Alemania. En nuestro caso, la pila tiene 2,8 m de canto, es hueca y de sección octogonal. El dintel está formado por cuatro paraboloides hiperbólicos muy rebajados, que determinan la transición entre la pila y los bordes longitudinales y por cuatro triángulos más pequeños, correspondiendo cada una de estas superficies a cada uno de los lados del octógono de la pila.

El dintel se pretensa en dirección longitudinal y transversal con unidades Freyssinet de 12 Ø 7 mm en número y distribución variable, con concentración mayor en las secciones longitudinal y transversal que pasan por encima de pila, debido tanto a la presencia del pilar como por la concentración de inercias que determina sobre estas líneas la forma del dintel (fig. 22).

El proceso constructivo queda claramente determinado por el funcionamiento resistente. Cada una de las células que lo constituye se construye sobre cimbra apoyada en el suelo, se hormigona y pretensa, procediendo seguidamente a su descimbrado. Se establece una secuencia de construcción de células que empieza en un estribo y acaba en el otro. En nuestro caso se empezó por los dos extremos a la vez para unirse en el centro (figuras 23 y 24).

En este tipo de puentes existe una relación clara entre funcionamiento resistente y proceso constructivo, pues durante todas las fases de construcción del tablero funciona de manera similar a como lo hace cuando el puente está construido. Por esta razón, es muy simple de construir y tiene gran elasticidad de empezar el proceso por donde interese, lo cual es particularmente interesante cuando los plazos de construcción son muy estrictos.

La cimentación de cada una de las pilas se llevó a cabo por medio de 14 pilotes de 1,00 m de diámetro (fig. 25).

## PASO SUPERIOR DEL GENERAL PRIMO DE RIVERA

Este paso superior se encuentra situado a unos 200 m del viaducto de San Pedro de Mezonzo y en su misma vía de acceso y sirve para salvar a distinto nivel el tráfico de acceso a La Coruña con el proveniente del Puerto.

El dintel está formado por tres vanos continuos, los laterales de 14 m y el central de 35 m de luz. La sección transversal es de sección trapezoidal con 10 m de ancho en la par-

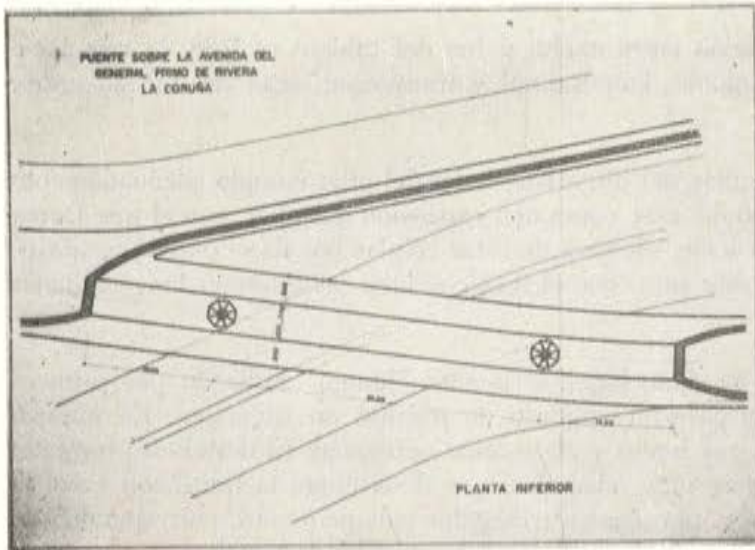
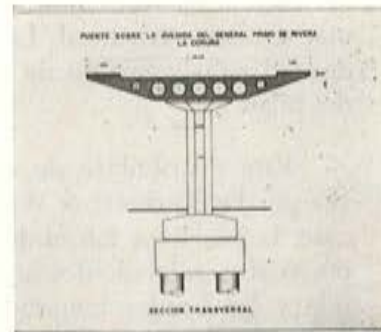


Fig. 26. — Puente de Primo de Rivera. Planta.

Fig. 27. — Sección transversal.



te superior correspondiente al tablero y 4 m en la parte inferior. El canto total en el centro es 1 m y disminuye hasta 20 cm en el borde (figs. 26 y 27).

El soporte del tablero lo constituyen los dos estribos finales y dos pilas octogonales de 1 m de espesor. La adopción de pila única se debe a que el cruce entre el dintel y la



Fig. 28.  
Vista inferior.

Fig. 29.  
Vista inferior.



vía inferior es muy oblicuo, con lo que se consigue diafanidad para el tráfico y los peatones, dado que se encuentra en zona muy urbana.

De especial importancia en el tratamiento del puente ha sido el hecho de que éste constituye una parte de la ordenación vial de conjunto de la zona. Con este fin ha sido necesaria la construcción de una serie de muros laterales y de acceso que hacen posible la distribución de la red vial y que forman junto con el paso superior un miniespacio urbano

Fig. 30. — Vista aérea del conjunto.



con personalidad propia. El tratamiento de conjunto ha sido necesario para construir un todo homogéneo (figs. 28, 29 y 30).

Como ya hemos dicho, el esquema resistente es el de un dintel continuo apoyado en los estribos y sobre columnas octogonales. Las pilas se empotran en el dintel por medio de una transición cónica. Para evitar el efecto sobre las pilas de la acción de las variaciones térmicas y de la flexión desequilibrada correspondiente a los dos vanos de luces muy diferentes, se habilitó en su parte inferior una articulación deslizante en dirección longitudinal. En dirección transversal esta articulación es capaz de recoger las flexiones que producen la carga al actuar sobre uno de los dos bordes longitudinales, con lo que las torsiones no se acumulan.

La construcción se realizó sobre cimbra total, y procediendo a continuación al armado, cableado y hormigonado. Esto fue posible porque en primer lugar el volumen del tablero era pequeño y segundo porque pudo establecerse una vía provisional de paso por detrás del estribo del paso superior.

La cimentación se estableció por medio de pilotes de 1 y 0,6 m de diámetro.

• • •

NOTA. — El estudio vial de la zona ha sido estudiado por el ingeniero Ramón Vidal Artaza, en colaboración con los ingenieros del Ministerio de la Vivienda Leopoldo Ridruejo y Felipe Ortega.

## Intervención final

(C. FERNANDEZ CASADO

Con la comprensión del tiempo correspondiente a mi primera intervención quedé en deuda con ustedes en la justificación de las intenciones, pues no llegué más que a la segunda. Y aunque sea a *posteriori* voy a cumplir con ello. Eran estas:

- 1.<sup>a</sup> Discutir en armonía, lo cual se ha salvado, aunque llegando al límite.
- 2.<sup>a</sup> Sacar experiencias, cosa que creo también se ha cumplido, al tener en cuenta todas las aportaciones españolas y las inglesas que Mr. Lee nos ha traído.
- 3.<sup>a</sup> Plantear el problema del proyecto en ingeniería, partiendo del de paso urbano donde las condiciones especiales de urbanidad dan un cambio de actitud.
- 4.<sup>a</sup> Ampliar la fórmula de mi profesor de puentes a los demás casos. Yo siempre la he ampliado, pues creo que, además del peón caminero, ve el puente el ingeniero que lo ha proyectado. En definitiva, plantear el problema de la arquitectura del ingeniero.

Y aprovecho también la ocasión para dejar aclarada mi posición en correspondencia con el ataque de que fui víctima el día pasado, a causa de mi artículo en la revista *Arquitectura*.

Creo que ha habido un malentendido, pues yo hablaba realmente de la arquitectura del ingeniero y el señor Fernández Ordóñez de la arquitectura del arquitecto. En mi punto de vista, la aparición del hormigón pretensado ha sido trascendental para el ingeniero; no es un nuevo material, ni un nuevo sistema constructivo; es un cambio de mentalidad, como ya lo advertía Freyssinet desde las primeras realizaciones. En cambio, no se ha transparentado en las fachadas de los edificios.

Hay pocos estudios sobre el ingeniero, sobre la actitud del ingeniero ante su obra. Yo he estado dejando constancia de ello por escrito desde el comienzo de mi profesión, año 1925, lo cual tiene sus ventajas y sus inconvenientes. En ese primer momento hubo dos cosas que me impresionaron profundamente: el depósito elevado de la estación de Villaverde y el concurso para el nuevo puente sobre el Tajo, en Toledo. El primero era una copa de cristalería fina, ampliada de escala hasta servir en el abastecimiento de dicha estación; y en el segundo, se daban soluciones de todos los estilos, predominando el neomudéjar. Fue mi primer artículo estructural en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, en el año 1931. Por entonces se había terminado el puente de Plougastel y yo, tomándolo como bandera, pedía: "que el ingeniero se descargue de la preocupación pseudo-estética y ahogue todo expresionismo funcional o decorativo, para que no se construyan más depósitos elevados en forma de copa, ni se intente decorar los puentes con detalles de arqueología medieval".

En España tenemos ejemplos suficientes para hacer una completa historia del puente: romanos, románicos, góticos, mudéjares, renacentistas con todas sus variantes (Carlos V, Herrera, Austrias, Borbones), barrocos, etc. En los romanos encontramos una lección estupenda de sobriedad; el mínimo de planos, el mínimo de formas. Mientras en las fachadas de teatros y anfiteatros adosaban órdenes griegos en superposición decorativa, no se les ocurrió hacer lo mismo con los puentes o con los acueductos. Y en la historia ha habido varias ocasiones de tentación. El gran ingeniero Perronnet, en el siglo XVIII, colocó delante de las pilas del puente de la Concordia columnas con capiteles toscanos.

Yo creo que en los puentes existe, en todo momento, una situación objetiva a la que podemos referirnos, con riesgo naturalmente de equivocarnos. Hay que insertarse en ella, para lo cual, viendo su evolución en diagrama vectorial, tendremos lo que Ortega denominaba la razón histórica. Qué duda cabe de que hay puentes barrocos magníficos; pero no sólo en Praga, sino aquí mismo, en Madrid, donde el puente de Toledo es uno de los ejemplares más excelsos. Pero cuando hemos tenido el honor de proyectar los dos puentes que van a acompañarle en la red arterial de Madrid no se nos ha ocurrido hacerle competencia, sino que, por el contrario, hemos modelado el diseño más simple posible: materialización del plano horizontal de la plataforma en losa de espesor constante para el dintel e hileras de columnas cilíndricas para las pilas.

Porque creemos, y así lo hemos hecho constar en nuestros escritos y en nuestras obras, que el puente es serenidad, sencillez y armonía, no con expresión intemporal, pero sí independiente de las modas. Propugnamos una actitud ascética del ingeniero, sobre todo en su contacto con la Naturaleza; lo que nos ha llevado al lema de introducir el mínimo de ideas nuevas en el paisaje. Actitud de humildad franciscana, pero sin complejo de inferioridad.

Creo que debemos depurar al máximo nuestra arquitectura de ingenieros, llegando hasta sus raíces renacentistas, pero sin complejo de superioridad. Allí donde no llegue el plexo tensional en la corporeidad de nuestras estructuras, no tenemos nada que hacer. Las excursiones de los arquitectos por el campo de la Ingeniería han dado lugar a una arquitectura manierista, pero las de los ingenieros por el terreno de los arquitectos han conducido siempre a arquitecturas trasnochadas.

## palabras de clausura

**F. CASSINELLO**  
**Presidente de la A. T. E. P.**

Permítanme que fuera de programa, y sólo en unos pocos minutos, les dirija unas breves palabras de clausura a este simposio, en las que quisiera destacar los tres conceptos que más me han llamado la atención.

### 1. EL PUENTE URBANO ES UN PUENTE URBANIZADO

- Y la verdad es que el concepto no está muy claro. Yo creo que el puente urbano es simplemente *una calle sobre otra calle*. Por ello, el antecedente más expresivo es el puente Vecchio de Florencia, tan integrado a la ciudad que no se conforma con dejarse mirar, sino que *vive* la vida ciudadana.
- Me parece que la mayor parte de estos puentes urbanos de hoy sean trozos de autopista sobre calle, que están hechos más pensando en el coche que en el hombre. La "Araña" y el "Pulpo", de Caracas, constituyen el ejemplo más expresivo de esta idea.
- No creo que un puente se urbanice buscándole funciones ajenas. El puente de 15 ojos, de Torroja, era uno de los más bellos puentes para verlos desde abajo, y hoy está absurda e irrespetuosamente transformado en almacén.

### 2. EL PUENTE ES INGENIERIA Y ESCULTURA

- Sí, pero escultura previamente proyectada y útil; una forma *racionalmente* concebida para un determinado *fin*. De todos modos creo que este descubrimiento de la *forma* es algo positivo; el que los ingenieros reconozcan que las bellas formas no son sólo para integrarlas o derivarlas, sino también, y principalmente, para que complacientemente las miremos y las toquemos habla mucho en favor de la humanización de la ingeniería.
- Y en este reencuentro con la *forma*, ¡claro que es lícito el barroco...!, pero en su concepto más puro —predominio espacial de las formas— y no en el del pastiche y el perifollo. El neobarroquismo brasileño es una buena muestra de ello.



### 3. EL PUENTE ES EL AUTORRETRATO DE SU AUTOR

— Efectivamente, porque no es un ente científico, sino artístico, y como toda obra de arte está teñida de la personalidad de su autor. Mientras que la meta era encontrar la definición matemática de una curva, los más afortunados consiguieron ponerle su nombre: lemniscata de Bernoulli, los óvalos de Cassini... Pero tan perfectamente curvas perdieron su humanidad, y así, por ejemplo, todas las clotoides, son clotoides y nada más que clotoides, y a ningún ingeniero se le ocurrió presumir de que su clotoide era más bella que la de su vecino. Claro que en el otro extremo están las famosas esculturas de Gog de Papini, que el artista tallaba en humo, y cuyo mejor encanto era la brevedad de su existencia.

Pero alegrémosnos, porque las conclusiones finales de este simposio no pueden ser más esperanzadoras. *El puente urbano es una obra de arte, en la que juega papel importante la verdad estructural, la plástica escultórica de sus formas, la funcionalidad de su solución, la adecuación de su entorno y la personalidad de su autor.*

Señores, enhorabuena, la ingeniería ¡a hombros de los ingenieros! ha vuelto a entrar por la puerta grande de la arquitectura.

# prefabricación de pasos elevados urbanos

**ANTONIO CAPARROS NAVARRO**  
**ALFREDO VERDE MARTIN**  
*Ingenieros de Caminos*

## I. PRESENTACION

El problema latente de la congestión del tráfico rodado en la mayoría de nuestras ciudades se agudiza a diario y exige las soluciones de más rápida y sencilla ejecución. Entre ellas está el atacar el problema a base de soluciones elevadas, lo cual plantea serios problemas de adaptación de las estructuras viales al carácter urbano, sobre el que de manera innegable inciden.

Todo esto está en el ánimo de los proyectistas de puentes, así como de los organismos oficiales interesados. Como consecuencia de tal preocupación se ha celebrado recientemente en Madrid un simposio a nivel nacional sobre Pasos Elevados Urbanos, y el motivo del presente artículo es prestar una colaboración más a lo allí brillantemente expuesto.

A nuestro juicio, los dos caracteres esenciales desde el punto de vista del proyecto son: el encaje de la solución en el entorno urbano de la ciudad y la mínima perturbación causada al tráfico en la zona de influencia. Este último punto nos lleva a considerar la idea de una solución prefabricada, cuyo proceso de montaje perturbe lo menos posible las condiciones actuales de la zona.

Hemos desarrollado la prefabricación de tres elementos de los cinco que constituyen la estructura de un paso elevado urbano: *pilas, dinteles y vigas de tablero*. Con ello se consigue la ejecución de este tipo de soluciones en un tiempo récord y con las siguientes ventajas.

- Más rapidez en la ejecución de la obra.
- Menor interrupción de la circulación.
- Simplificación de los equipos de trabajo y gran economía de mano de obra.
- Escasa influencia de las condiciones climatológicas adversas en la realización de la obra.

Ahora bien, siendo como son, pasos elevados urbanos, es obvio que las perspectivas de los lugares donde se ubican quedan modificadas, y, por tanto, la estética debe ser un punto de máxima atención.

Esta cuestión de la estética es muchas veces el caballo de batalla con el que tiene que luchar la prefabricación de hormigón, y nosotros hemos prestado la máxima atención a este punto, intentando resolverla a base de dos ideas fundamentales:

- Incorporación en el tablero de unas vigas de borde que, a nuestro juicio, resuelven el problema de su vista lateral, vigas que además cumplen su misión funcional al llevar incorporadas aceras y barandillas.
- Solución de los apoyos del tablero a base de pila única y dintel enrasado con el intradós del tablero.

## II. DATOS DE PROYECTO

### I. Datos generales.

Los elementos prefabricados son:

- Vigas de tablero.
- Dintel de apoyo de vigas.
- Pilas.

Dejando para ejecutar in situ:

- Losa de tablero.
- Cimentación.

Lo que reduce en tiempo e intensidad las dificultades de trabajo durante la realización.

Desde el punto de vista del estudio de estas posibilidades debemos analizar tres aspectos fundamentales:

- Posibilidades de proyecto.
- Precios.
- Plazo de ejecución.

El primer aspecto nos dirá si es viable la idea y qué limitaciones técnicas pueden existir.

Los otros dos aspectos nos marcarán los puntos de partida para la comparación frente a soluciones tradicionales de ejecución *in situ*.

Se han estudiado los pasos de las siguientes características:

— Ancho de calzada ... ..	7,00 m.
— Ancho de aceras ... ..	0,70 m.
— Ancho total de plataforma ... ..	8,40 m.
— Canto total ... ..	0,95 m.
— Altura máxima de pila sobre nivel terreno ... ..	5,00 m.

Y con las siguientes luces entre ejes de pilas:

22	20	18	16	14	12
----	----	----	----	----	----

La solución de *pasos elevados* que presentamos tiene una gran flexibilidad, pudiéndose con ello cubrir una amplia gama de posibilidades.

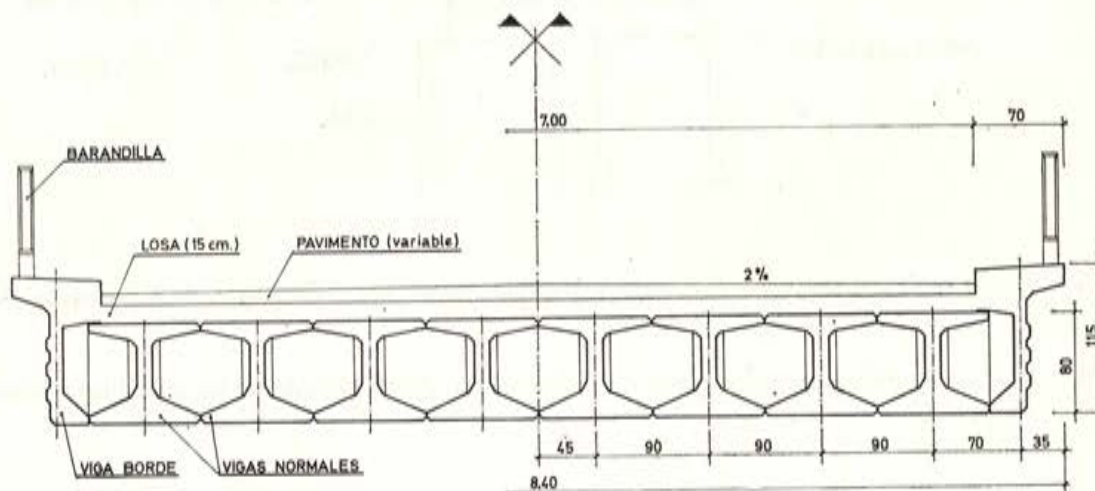
Son realizables en tramos rectos (con distancias entre pilas iguales o desiguales), en tramos con esviajes, y presentan la posibilidad de superposición transversal, consiguiéndose así doble número de vías de circulación que, incluso, pueden ser desviadas en sentido divergente.

La figura 1 representa una perspectiva de conjunto del paso elevado cuya solución pasamos a desarrollar.

## 2. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS

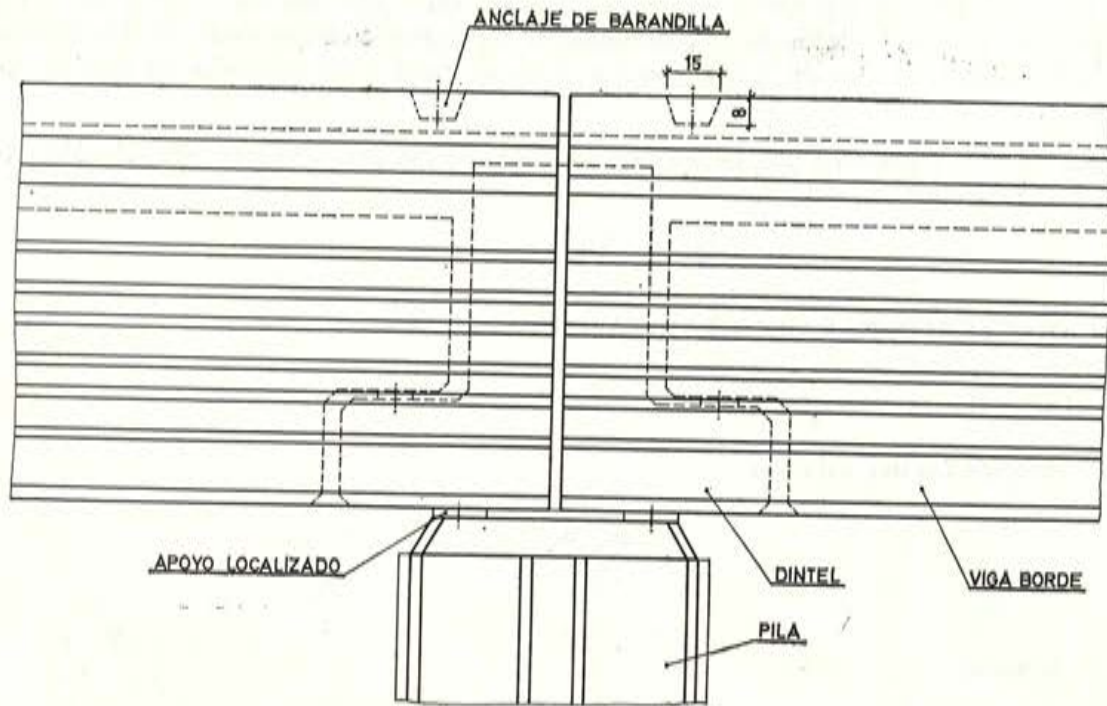
### 2.1. TABLERO

#### 2.1.1. Sección transversal tipo:



- A) Las vigas prefabricadas van adosadas.
- B) Las vigas de borde llevan incorporadas las aceras dando un aspecto estético agradable.
- C) El intradós del tablero presenta una superficie plana cortada longitudinalmente por los biselados de acabado de las vigas.
- D) La losa hormigonada *in situ* no necesita encofrado.
- E) Las mallas electrosoldadas utilizadas como armadura de la losa simplifican la preparación y puesta en obra de la armadura.

2.1.2. Alzado del tablero.



- A) El intradós no presenta discontinuidad, ya que el dintel de apoyo de las vigas queda tapado por las vigas de borde.
- B) Los paramentos laterales presentan discontinuidad únicamente en una junta lateral por vano (2 cm).

ALZADO LONGITUDINAL

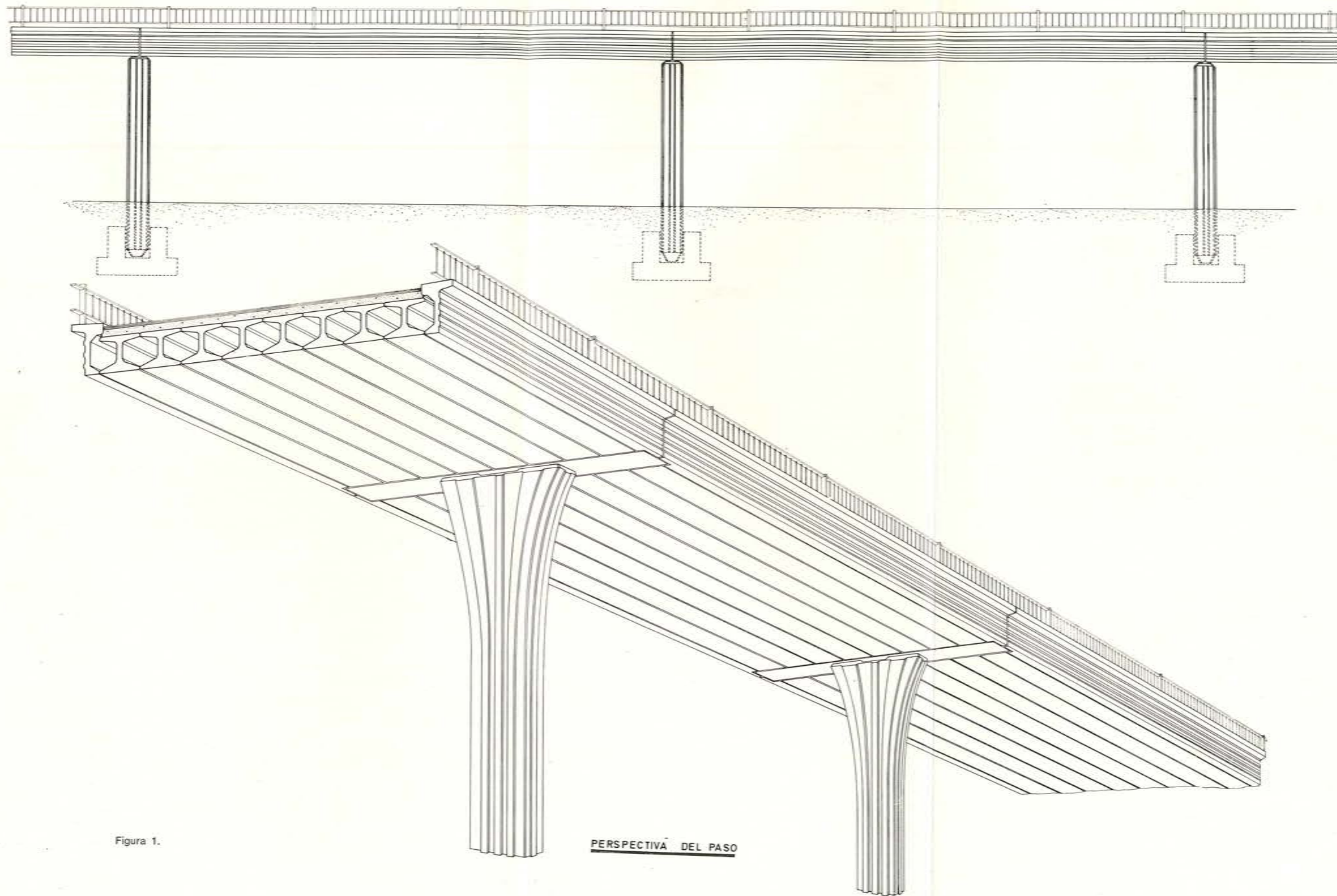
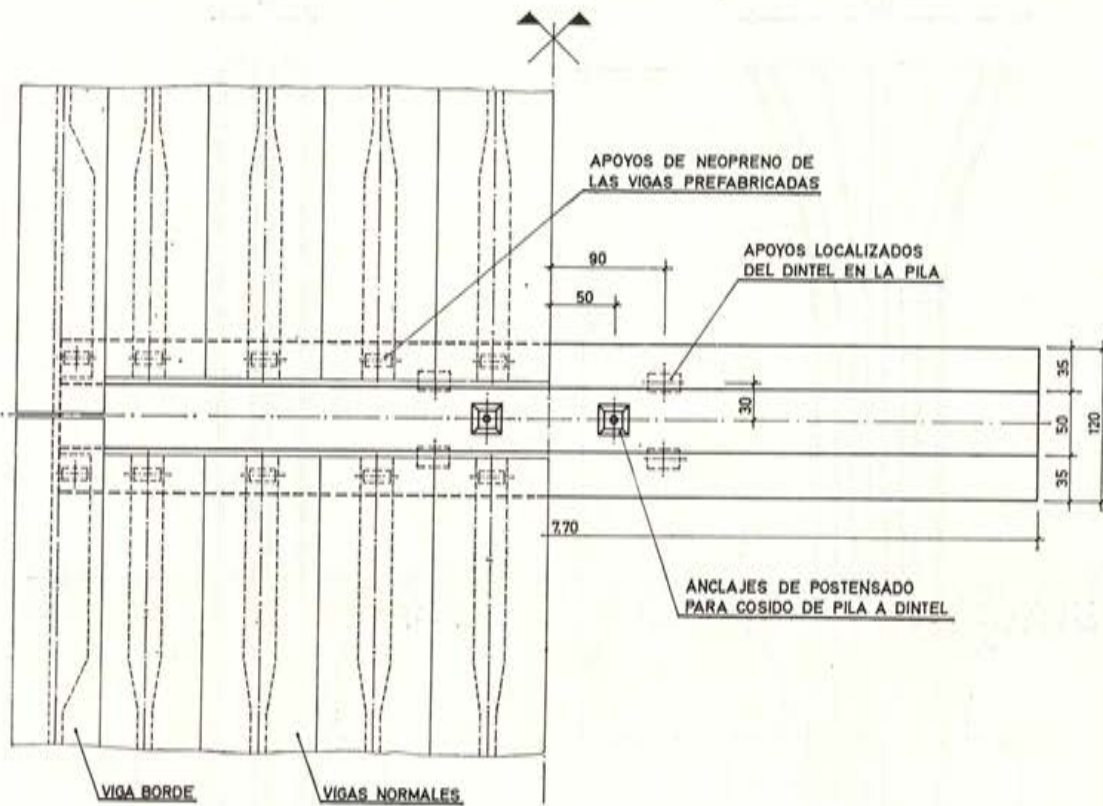


Figura 1.

PERSPECTIVA DEL PASO

## 2.2. DINTEL

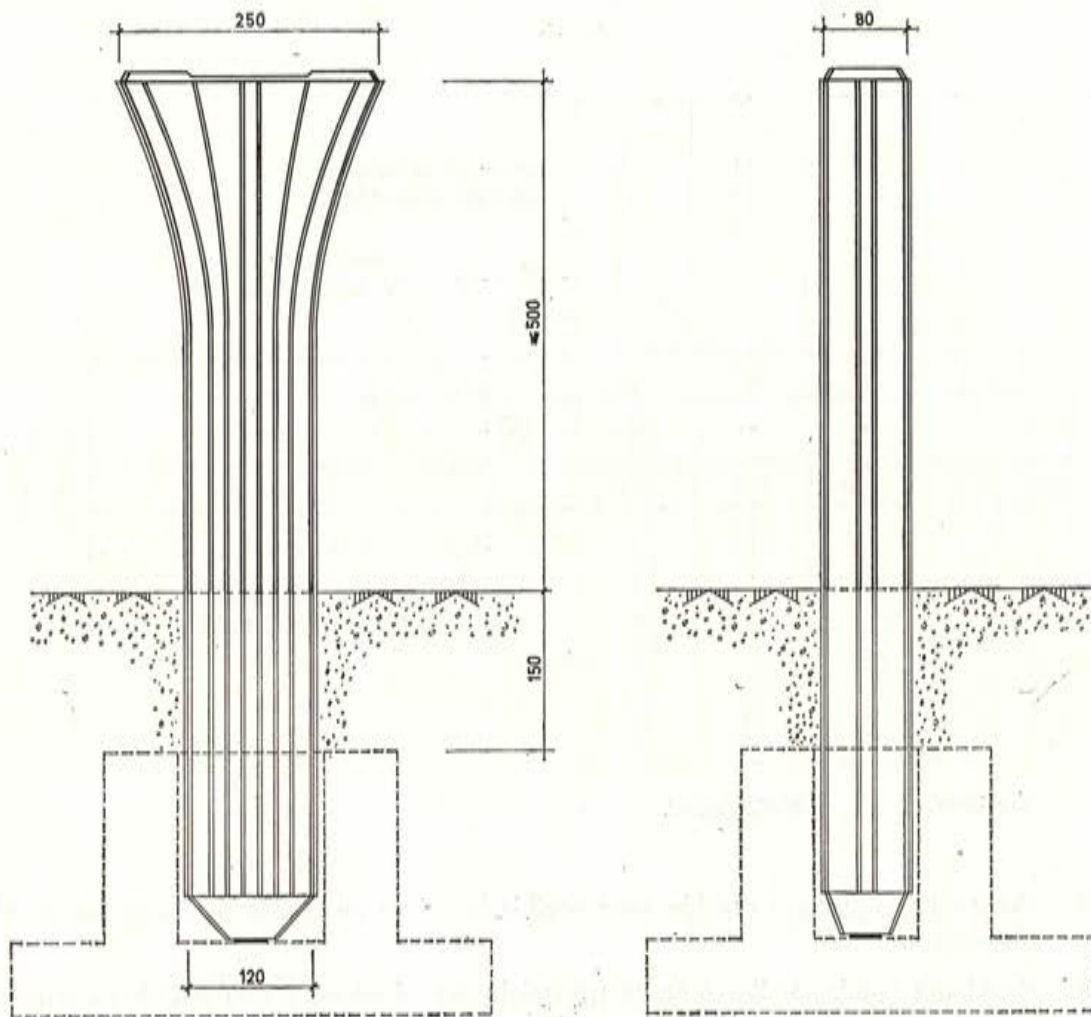
### 2.2.1. Planta



- A) Presenta el oportuno escalón para recibir las vigas en placas de neopreno en él dispuestas.
- B) En planta puede ser ligeramente trapecial para adaptarse a una posible curvatura del puente.
- C) Va apoyado en cuatro puntos a la pila mediante placas de acero.
- D) Con un postensado vertical realizado en otros dos puntos se une estructuralmente a la pila.
- E) Dicho postensado vertical va anclado a la propia pila.

## 2.3. PILAS

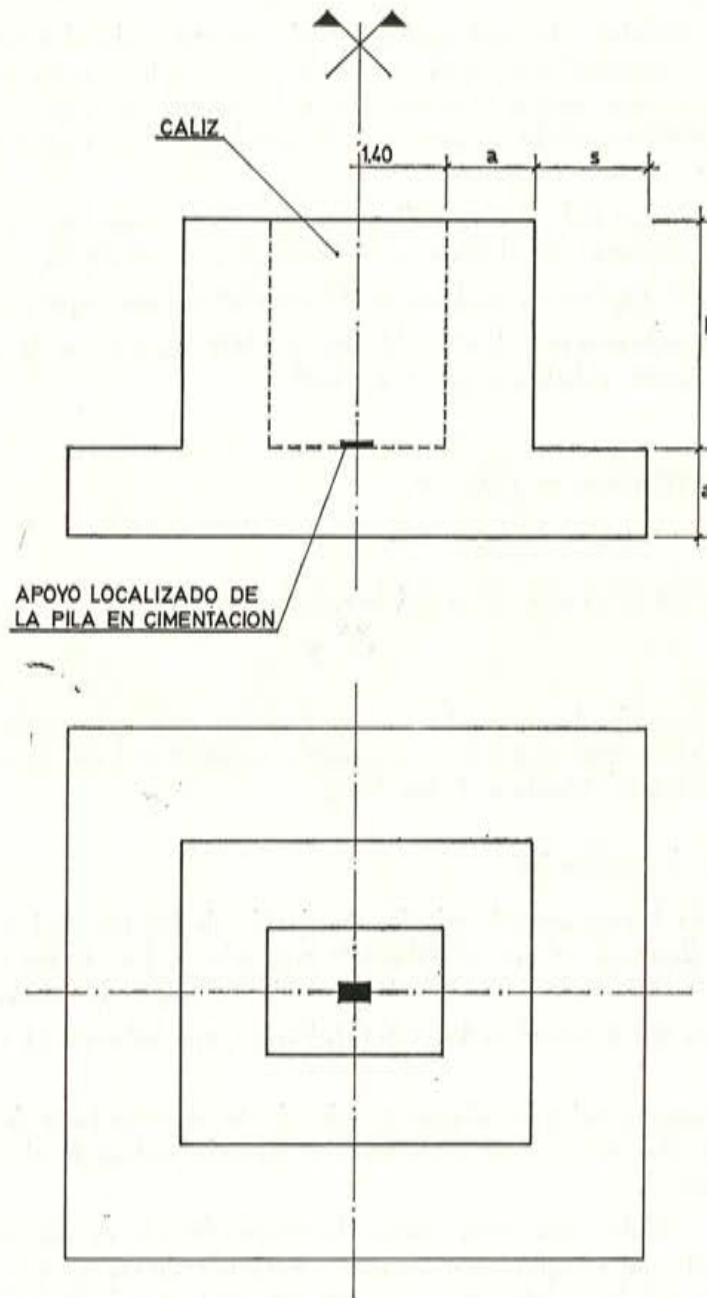
### 2.3.1. Alzado



- A) El paso elevado con dos carriles de circulación lleva pila única.
- B) La pila única facilita la vialidad del tráfico inferior, tanto en fase de construcción como en servicio.
- C) La pila única proporciona economía en cimentación.
- D) Su longitud máxima permite cimentaciones hasta de  $-4,00$  por debajo de la vía inferior, manteniendo un gálibo de 5,00 m.

## 2.4. CIMENTACIÓN

### 2.4.1. Planta y alzado



- A) El hueco existente permite introducir la pila con el huelgo necesario.
- B) El espacio existente entre pila y cáliz permite hormigonar dicho espacio con toda comodidad.
- C) La placa del fondo del cáliz sirve para nivelar la pila.
- D) La estructura de zapata en cáliz una vez hormigonada empotra la pila en la zapata.

### 3. Datos técnicos.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Los elementos prefabricados que componen el paso son realizados en taller, y su proceso de fabricación y materiales de ejecución están sujetos a los controles normales de fábrica. Así, indicamos como índice la resistencia de los hormigones, que es de  $350 \text{ Kg/cm}^2$  como valor característico medido en probeta cilíndrica de  $15 \times 30 \text{ cm}$  a los veintiocho días.

Las partes resistentes del paso a realizar en obra son la zapata y la losa del tablero, para lo que se han supuesto las siguientes características de materiales:

Hormigón de  $225 \text{ Kg/cm}^2$  de resistencia característica para zapata y losa.

Aceros de alta adherencia y límite elástico  $\geq 5.000 \text{ Kg/cm}^2$  en la zapata, y mallas electrosoldadas de límite elástico  $\geq 5.000 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### 3.2. CARGAS Y SOBRECARGAS DE CÁLCULO

##### 3.2.1. *Peso propio.*

Se ha supuesto un peso específico del hormigón de  $2,5 \text{ t/m}^3$ .

##### 3.2.2. *Pavimento.*

Se prevé la colocación de un pavimento que origina una sobrecarga de  $200 \text{ Kg/m}^2$ , equivalente aproximadamente a 8 cm de hormigón asfáltico y 3 cm de espesor medio de hormigón para pendientes (bombeo, 2 por 100).

##### 3.2.3. *Sobrecargas de utilización.*

Sobre la calzada hemos considerado la circulación de los trenes 1 y 2 de la vigente "Instrucción para cálculo de tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en los de hormigón armado" (1956), del Ministerio de Obras Públicas.

Sobre las aceras se ha considerado la actuación de una sobrecarga uniforme de  $450 \text{ Kg/m}^2$ .

En caso de actuación del tren número 1, además de su coeficiente de impacto correspondiente, consideramos una fuerza horizontal de frenado, actuando al nivel de la calzada, de 12 t por tramo.

Sobre la pila, consideramos, como situación extraordinaria de cargas, la posibilidad de impacto sobre ella por la aplicación de una fuerza horizontal de 40 t, que puede actuar en cualquier dirección y aplicada un metro por encima del nivel de la vía inferior que salva el paso.

##### 3.2.4. *Sobrecargas ecológicas.*

Dentro de este grupo quedan incluidas las producidas por el viento y por acciones sísmicas.

Las acciones sísmicas no se han considerado, por suponer en los cálculos una ubicación de la obra en zona no sísmica. Para las zonas en que estos efectos hubieran de tener-

se en cuenta aplicaríamos la Norma Sismorresistente PGS-1 (1968), publicada en el "Boletín Oficial del Estado" del día 13 de marzo de 1967, que establece que deberán calcularse, a efectos sísmicos, todos los puentes de carretera situados en zona de media y alta sismicidad (zonas B y C), para los cuales serán aplicables los epígrafes contenidos en el artículo 5.2.1.1 de dicha Norma.

A título indicativo, damos las capitales de provincia del territorio peninsular incluidas en esas zonas:

ZONA B	ALBACETE, ALMERIA, BADAJOZ, BARCELONA, CADIZ, CORDOBA, HUESCA, HUELVA, LA CORUÑA, LOGROÑO, MALAGA, PAMPLONA, SANTANDER, SEVILLA, VITORIA, ZARAGOZA.
ZONA C	ALICANTE, GRANADA, JAEN, MURCIA.

### 3.3. MÉTODO DE CÁLCULO.

El procedimiento de cálculo aplicado al tablero ha consistido en suponer los tramos rectos y simplemente apoyados, pudiéndose entonces aplicar el método de Guyón-Massonnet-Barés, que sustituye el tramo por una losa ortótropa equivalente.

Para aproximarse más a la solución exacta de Huber hemos tenido en cuenta el valor del módulo de Poisson y la excentricidad de las vigas respecto al plano medio de la losa.

Para tener en cuenta esta excentricidad, las rigideces longitudinal y transversal se calculan por aproximaciones sucesivas.

El cálculo ha sido realizado en un ordenador electrónico IBM-1130, obteniéndose las superficies de influencia en los 81 nudos obtenidos de la malla resultante de dividir en ocho partes iguales la luz y en otras ocho partes iguales el ancho, calculando los cinco primeros términos de los desarrollos en serie de Fourier, que sirven para la obtención de los esfuerzos.

Naturalmente, se ha considerado la posición de las cargas de los trenes más desfavorables.

En el caso de que por necesidades viales el tablero presentase oblicuidad, el procedimiento de cálculo seguiría siendo válido hasta oblicuidades de aproximadamente 25°, puesto que las diferencias son pequeñas. Pero no sería válido para oblicuidades mayores, teniéndose entonces que calcular cada caso concreto, mediante la asimilación del tablero a un emparrillado plano, discretizándolo convenientemente y utilizando el cálculo electrónico con el conocido programa Stress.

Para que este estudio de pasos elevados tuviese la mayor aplicación posible, es necesario que presenten una gran flexibilidad en cuanto a la posibilidad de colocar vanos sucesivos de distinta luz.

Como es lógico, los tableros no serían afectados por esta solución y cada vano se dimensionaría de manera independiente para su propia luz de cálculo.

Sin embargo, los restantes elementos estructurales que componen el paso sí vendrían afectados, siéndolo en mayor grado el dintel al aumentar por estos desequilibrios de vanos los momentos torsores que aquél debe soportar. Esto se ha tenido en cuenta en los cálculos y se ha comprobado que, por ejemplo, un vano de 22 m puede colocarse junto a uno de 12 m.

### 3.4. ESFUERZO SOBRE CIMENTACIÓN

A continuación resumimos como ejemplo de la sistematización del cálculo para una luz determinada, los esfuerzos que aparecen en la sección de empotramiento de la pila (sección A-A) (fig. 2).

**LUZ DE CALCULO: 21,10 m**

HIPOTESIS DE CARGA		ESFUERZOS EN LA SECCION DE EMPOTRAMIENTO (T, y, m × t)			
		V	H	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
1	Montaje de tres vigas extremas y la de borde de un tramo .....	137,74	0	20,30	87,50
2	Un tramo montado sin estarlo el contiguo .....	214,04	0	73,20	0
3	Idem 2, pero con variación de temperatura, retracción y fluencia .....	214,04	10,90	149,60	0
4	Dos tramos terminados, con circulación en los dos carriles de un tramo .....	430,70	0	35,00	0
5	Idem 4, pero con circulación en los dos carriles de dos tramos consecutivos ...	504,66	0	0	0
6	Idem 4, pero con frenado en un tramo ...	340,32	H <sub>y</sub> = 6,00	54,30	0
7	Impacto sobre la pila superpuesto a la hipótesis 6 .....	340,32	H <sub>y</sub> = 46,00	174,00	0
8	Impacto sobre pila en dirección perpendicular a la supuesta en 7 superpuesto a 6 .....	340,32	H <sub>y</sub> = 6,00 H <sub>x</sub> = 40,00	54,30	120,00

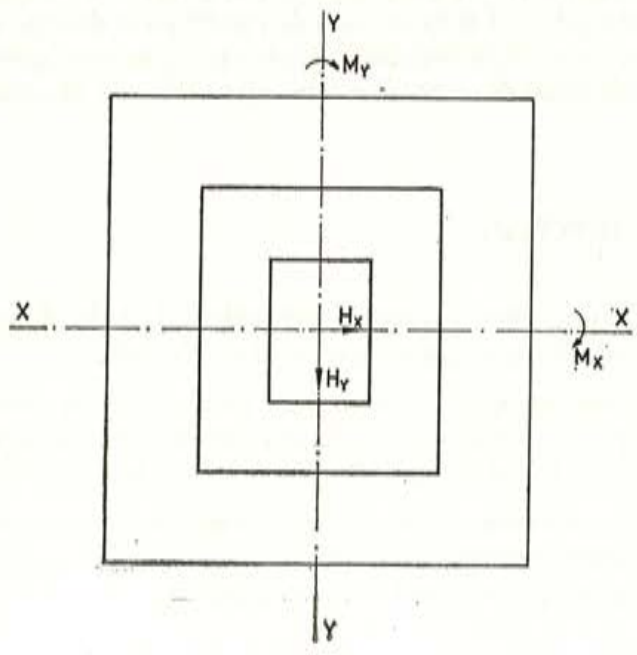
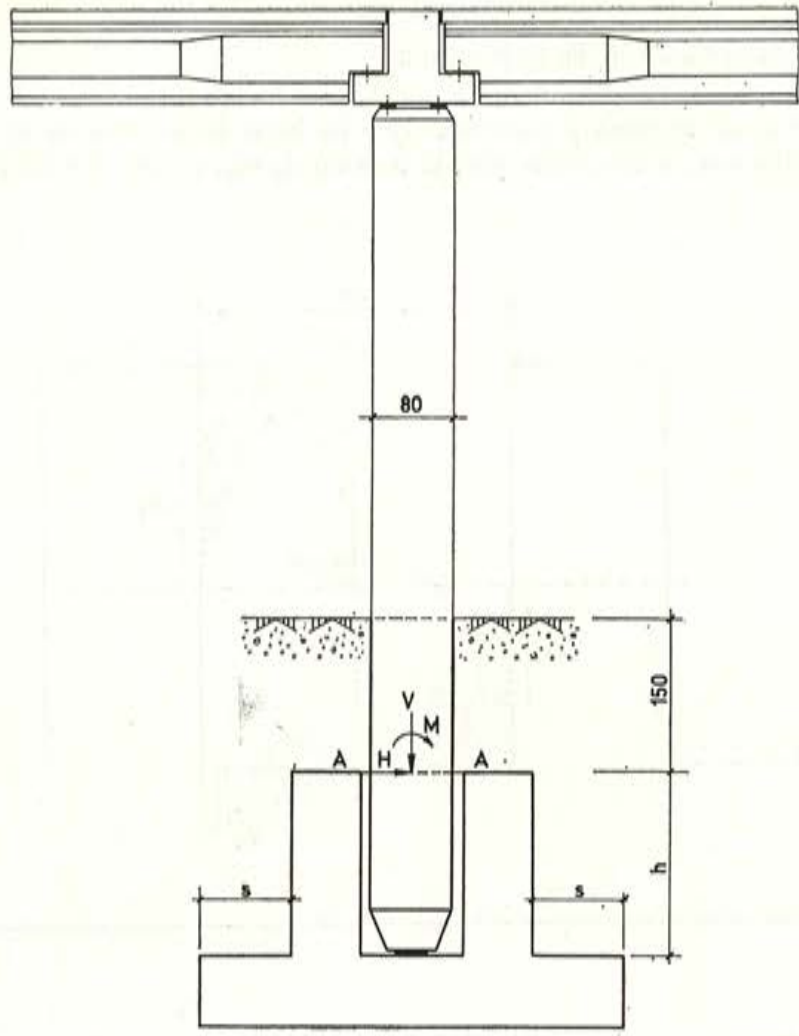
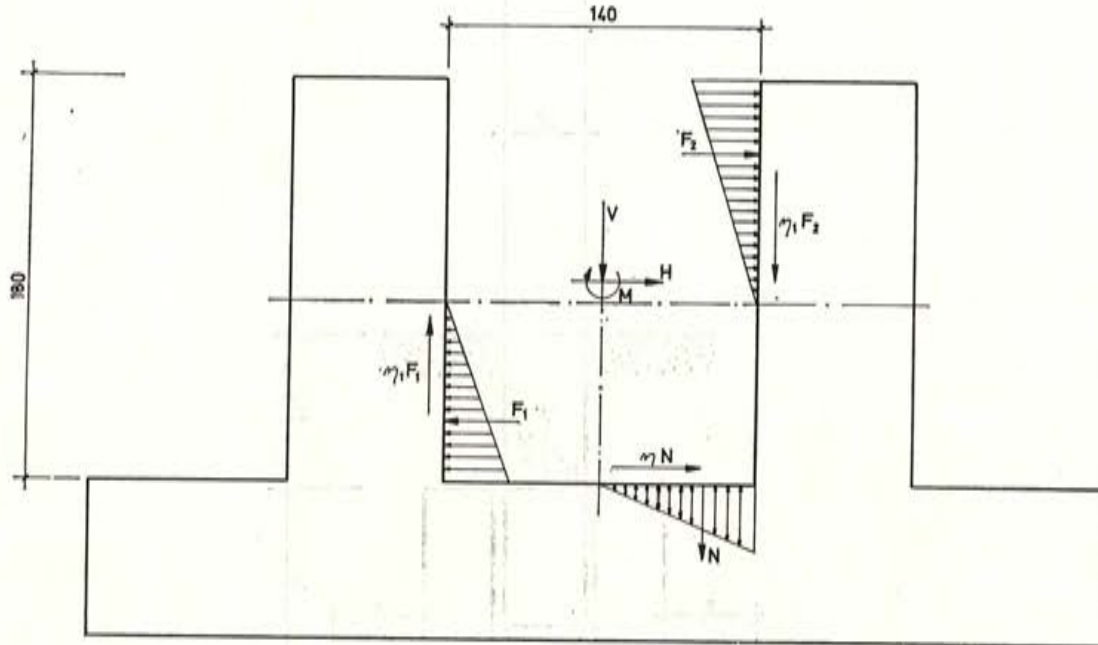


Figura 2.

### 3.4.1. Empotramiento de la pila en la zapata.

El equilibrio de acciones y reacciones que ha lugar en el cáliz de la zapata, y, por tanto, las sollicitaciones a considerar para el armado de dicho cáliz, son las reflejadas en el croquis:



### 3.4.2. Interrelación con el terreno.

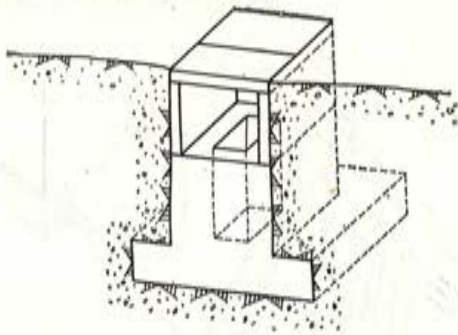
Una vez dimensionada la zapata se procede al estudio de su estabilidad y a la comprobación de tensiones sobre el terreno, caso de cimentación directa, o al dimensionamiento de los pilotes, caso de ser ésta indirecta, siguiendo ya en este apartado 3.4.2 los métodos habituales para esta clase de comprobaciones que marca la Mecánica del Suelo.

## III. PROCESO DE MONTAJE

A continuación figuran unos esquemas explicativos de todo el proceso de montaje de los elementos prefabricados que constituyen el paso elevado.

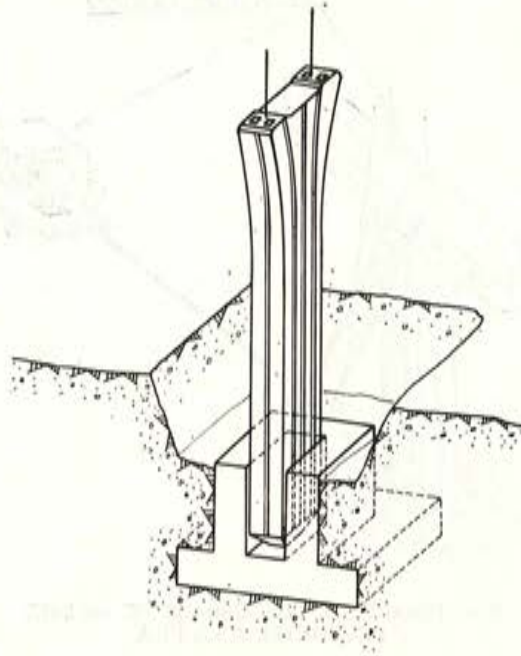
En dichos esquemas no figura el proceso de ejecución de la cimentación, por ser éste de naturaleza muy variable, dependiendo de la forma de aquélla; pero sí la ejecución de la capa de compresión del tablero, que se ejecuta in situ una vez colocadas las vigas.

Es de resaltar que durante el tiempo de montaje, los cortes de circulación tienen una duración mínima, estando previsto el cierre del vaciado de la zapata de cimentación para reducir aún más estos tiempos de corte de circulación.



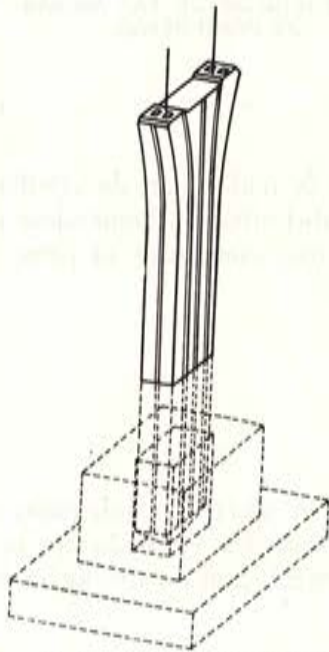
### 1. — CIMENTACION

Una vez hormigonada la zapata puede colocarse al nivel de rodadura una placa prefabricada de  $2,40 \times 2,80$  m (en dos piezas de  $2,40 \times 1,40$  m) que permita dar tráfico hasta la colocación de la pila.



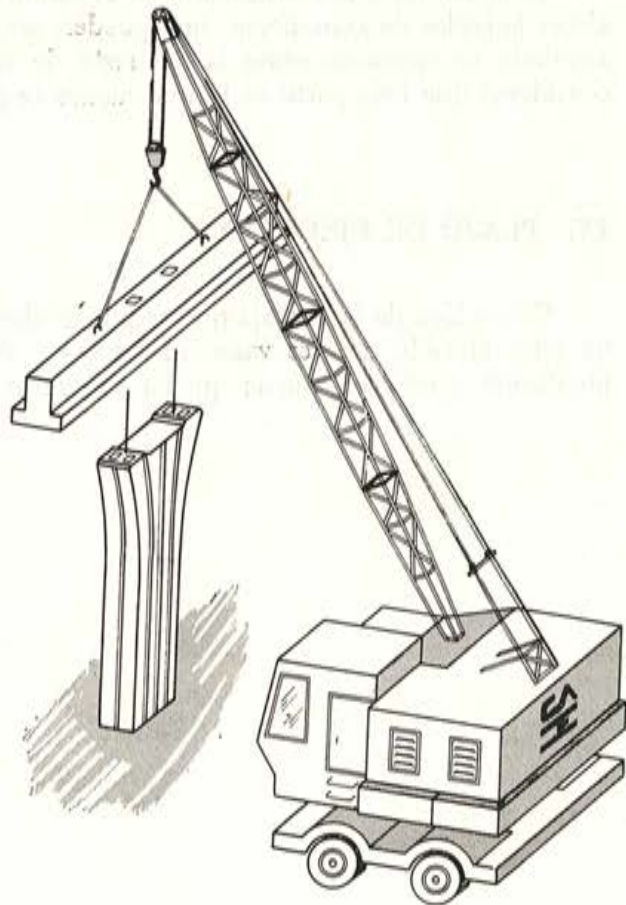
### 2. — MONTAJE DE LA PILA

Puesta en posición (nivel y plomo) de la pila, se hormigonará el hueco entre cáliz y pila.



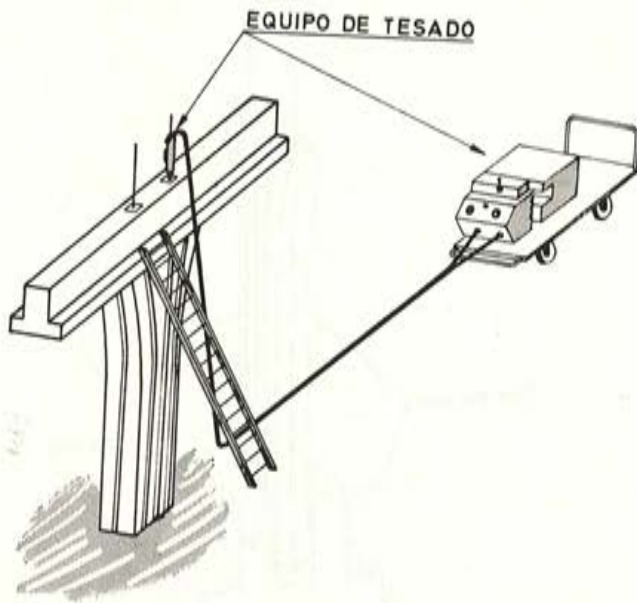
### 3. — PILA PARA MONTAJE DE DINTEL

El hormigón de relleno del hueco en cáliz, tendrá una resistencia  $R_k \geq 180 \text{ Kg/cm}^2$  (se supone suficiente dos días usando P-450).

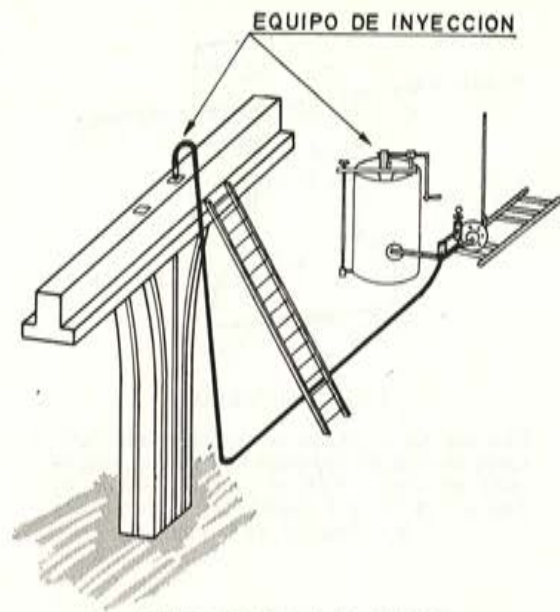


### 4. — MONTAJE DEL DINTEL

Consiste en el enhebrado de los cables de postensado en las vainas del dintel nivelado y alineado de éste.



5. — TESADO DE LOS CABLES DE COSIDO DEL DINTEL A LA PILA

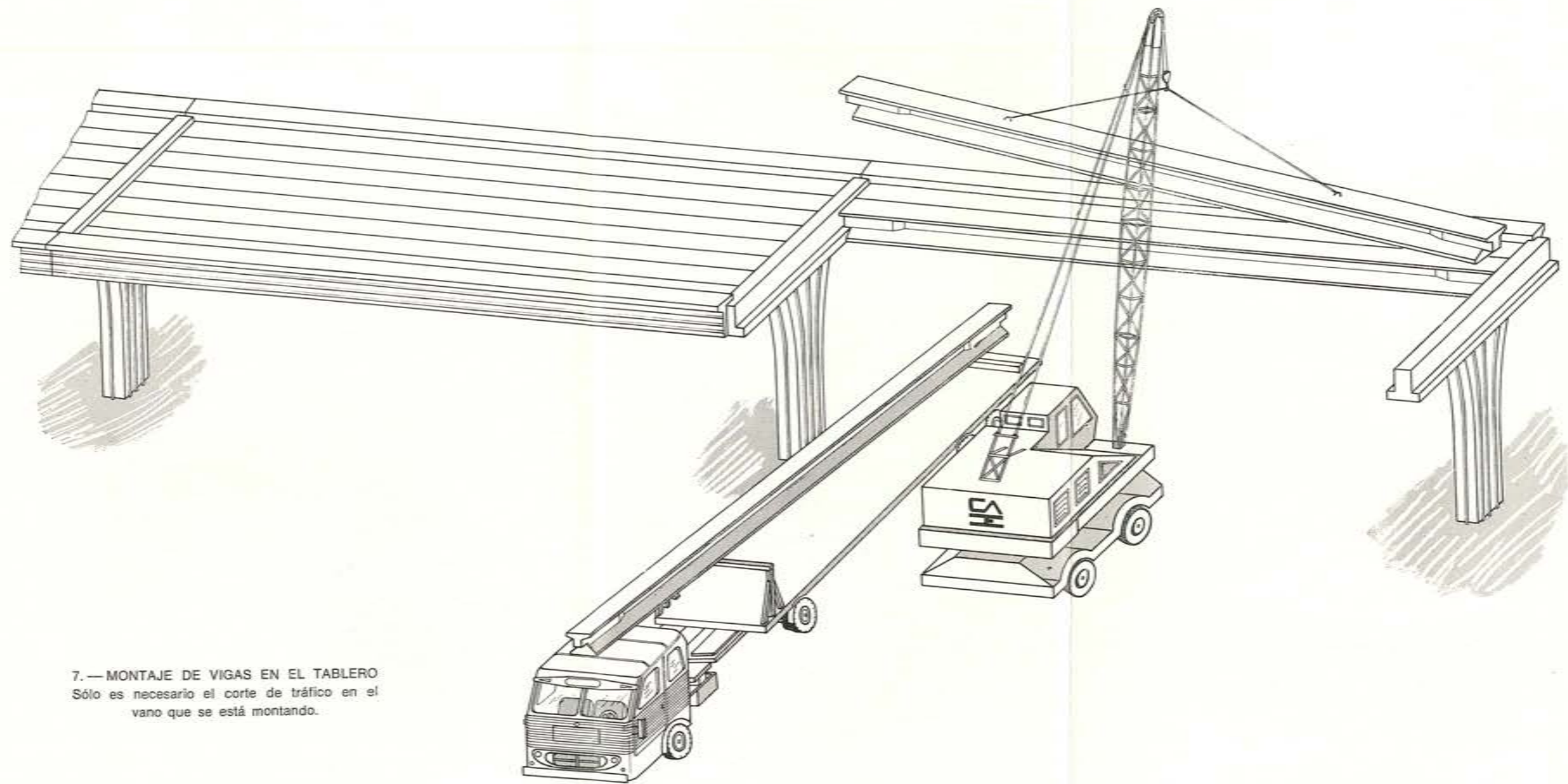


6. — INYECCION DE LAS VAINAS DE POSTENSADO

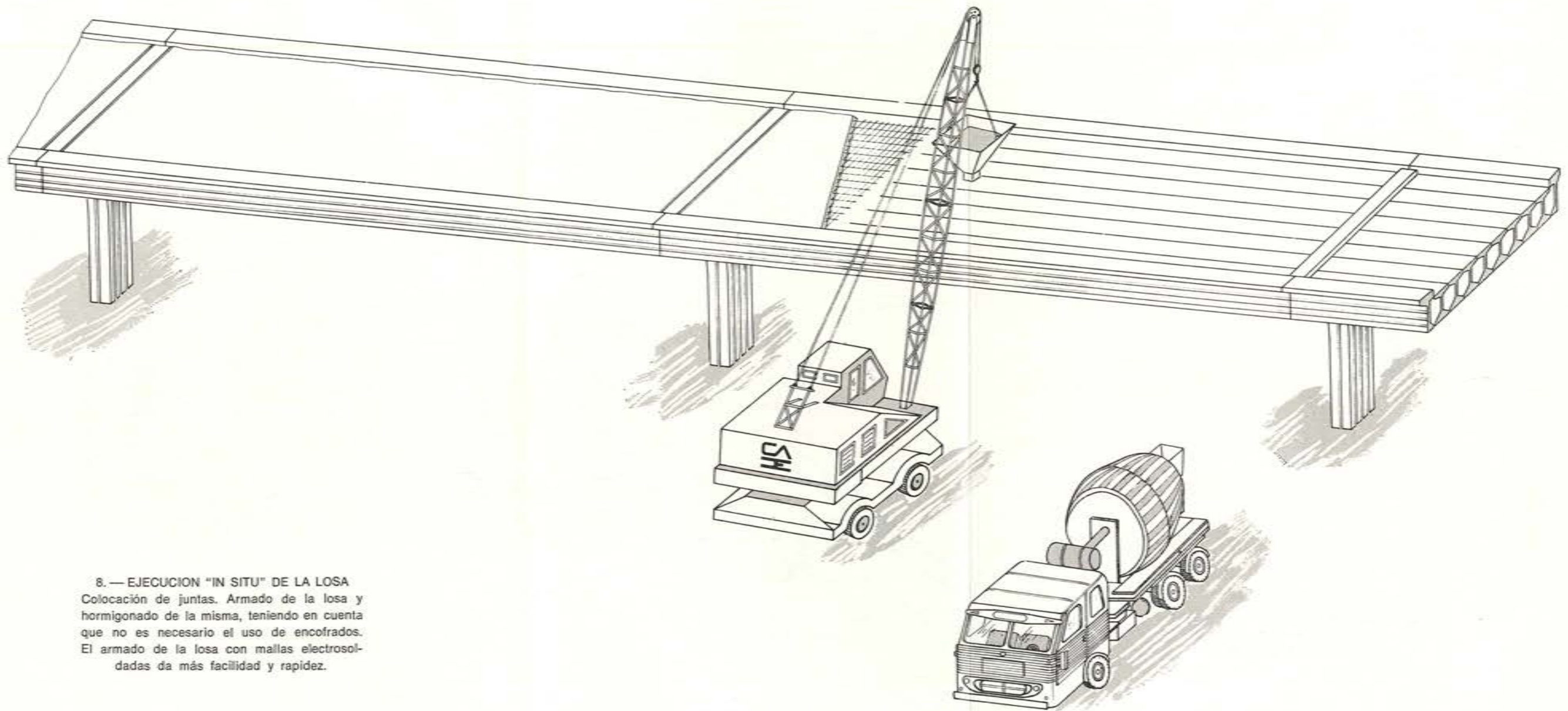
Tampoco ha sido considerado en el estudio de montaje la realización de estribos y aletas laterales de contención, que pueden ser también prefabricadas, no habiéndose desarrollado su ejecución como la del resto de los elementos que componen el paso, por considerar que esta parte es la que menos se puede tipificar.

#### IV. PLAZO DE EJECUCION

Como idea de la ventaja que se puede obtener en plazo de ejecución indicamos que un paso elevado de tres vanos (dos pilas y dos estribos), supuesta ya realizada la cimentación y estribos, puede quedar dispuesto para su pavimentación en dieciocho días.



7. — MONTAJE DE VIGAS EN EL TABLERO  
Sólo es necesario el corte de tráfico en el  
vano que se está montando.



8. — EJECUCION "IN SITU" DE LA LOSA  
Colocación de juntas. Armado de la losa y  
hormigonado de la misma, teniendo en cuenta  
que no es necesario el uso de encofrados.  
El armado de la losa con mallas electrosol-  
dadas da más facilidad y rapidez.

## DOS SIMPOSIOS DE LA F.I.P. EN RUSIA EN 1972

Dos Simposios, uno sobre "Estructuras Sísmicas" y otro sobre "Aplicación del hormigón pretensado en estructuras flotantes y sumergidas", se celebrarán en Tbilisi (Tiflis), Rusia, del 25 al 30 de septiembre de 1972. Los Simposios los organiza el Grupo Soviético, Miembro de la F.I.P., por invitación del Instituto del Hormigón y Hormigón Armado de Moscú y la Institución de Mecánica Estructural y Resistencia Sísmica de Tbilisi.

Durante el Simposio sobre "Estructuras Sísmicas" se discutirán comunicaciones relativas a los cuatro temas siguientes:

- Tema I. Proyecto y construcción de estructuras pretensadas en zonas sísmicas. Normas de Cálculo.
- Tema II. Investigación sobre estructuras pretensadas en zonas sísmicas. Métodos y resultados.
- Tema III. Aplicaciones de los elementos de hormigón pretensado en los edificios construidos en zonas sísmicas para: Industria; Obras Públicas; Transportes; Ingeniería hidráulica.
- Tema IV. Experiencias sobre el comportamiento de las estructuras de hormigón pretensado durante los sismos.

Se presentarán informes generales sobre los cuatro temas. El Simposio estará dirigido por el Profesor K. V. Mikhailov, Moscú.

Durante el Simposio sobre "Aplicación del hormigón pretensado en estructuras flotantes y sumergidas" se discutirán comunicaciones relativas a los cuatro temas siguientes:

- Tema I. Barcazas, pontones, aeropuertos flotantes.
- Tema II. Cascos de barco, de superficie y submarinos.
- Tema III. Recintos cerrados, submarinos para almacenar mercancías y como viviendas. Estancias sumergidas a grandes profundidades. Plataformas submarinas.
- Tema IV. Métodos de construcción (fabricación, botadura, instalación, unión de elementos flotantes o sumergidos, anclajes).

El Simposio estará dirigido por Mr. Ben C. Gerwick, San Francisco.

La F.I.P. ruega a todos sus Grupos Miembros que soliciten de sus Asociados que puedan tener alguna información que pueda servir a los Ponentes Generales para la preparación de sus informes, la envíen a los organizadores oportunamente a través del correspondiente Grupo Miembro. Las comunicaciones se presentarán escritas a máquina, en uno de los idiomas oficiales de la F.I.P. (inglés, francés, alemán o ruso) y no excederán de 4.000 palabras. De ellas se enviarán:

- Dos copias al Instituto del Hormigón y Hormigón Armado-Gosstroy, Rusia, Prospekt Mark, 12, Moscú (Rusia).
- Dos copias a la Oficina Administrativa de la F.I.P., Terminal House, Grosvenor Gardens, Londres S.W. 1, (Inglaterra).

Las comunicaciones se presentarán en papel folio, tamaño A4 (aproximadamente 22 × 29 cm, es decir, del mismo tamaño que el utilizado para las "Notas de la F.I.P"), con un margen no inferior a 40 mm, arriba, abajo y a la izquierda de cada página. Los que deseen mandar comunicaciones para que sean incluidas en el informe de los Ponentes Generales, pueden hacerlo directamente o a través de su Grupo Nacional, enviando al mismo tiempo un resumen de no más de 250 palabras. Deberán indicar claramente el Simposio y tema al que pertenece su comunicación y remitirla a las direcciones indicadas anteriormente, antes del 1 de julio de 1971.

Los Informes Generales se publicarán en inglés, francés, alemán y ruso, y las comunicaciones individuales de mayor interés en el idioma en que se reciban. En los Simposios habrá discusión, tanto preparada como libre, sobre los Informes Generales. También se publicarán los Resúmenes de estas discusiones.

La cuota de inscripción para el Simposio de dos días de duración sobre "Estructuras Sísmicas" es de 20 libras. Para el Simposio sobre "Aplicaciones del hormigón pretensado en estructuras flotantes y sumergidas", que durará un día, la cuota de inscripción será de 15 libras. El número de participantes en cada Simposio no podrá ser superior a 200.

#### **NUEVA COMISION DE LA F.I.P. SOBRE "PRACTICA CONSTRUCTIVA".**

Se está constituyendo una nueva Comisión de la F.I.P. bajo la dirección del Profesor Roger Lacroix (Francia), y su primera reunión se celebrará en Dublín el 27 de mayo de 1971. Esta Comisión inicialmente se dedicará al estudio de los cinco temas siguientes:

1. Control en obra de las operaciones de tesado y relación entre alargamientos registrados, flechas y fuerzas aplicadas.
2. Morteros de inyección y ejecución de la inyección.
3. Precauciones que deben adoptarse durante el almacenamiento, manipulación y colocación de los tendones de pretensado.
4. Precauciones que deben tomarse contra los efectos producidos por los materiales anticongelantes sobre los tableros de puentes y otras estructuras.
5. Anclajes pretensados en los distintos tipos de terreno, con especial referencia a los problemas de protección.

Esta comisión se constituyó previamente, de un modo provisional, con el título "Comisión sobre ejecución de obras"; pero al haberse ampliado su programa y los temas sometidos a su estudio, los diversos Grupos Nacionales pueden ahora, si lo desean, revisar o ampliar su representación en dicha Comisión. Todo nuevo nombramiento deberá comunicarse a la Secretaría Técnica de la F.I.P., a través del Grupo Nacional correspondiente, tan pronto como sea posible, con el fin de que las personas designadas puedan incorporarse a los trabajos de la Comisión antes de la reunión de mayo de 1971.

### **REUNION ESPECIAL DE LA COMISION DE LA F.I.P. SOBRE "ACERO PARA PRETENSADO"**

Se tiene previsto organizar una reunión especial de la Comisión de la F.I.P. sobre "Acero para pretensado", de uno a dos días de duración, durante la primavera o verano de 1971. En ella se mantendrán discusiones entre las personas especialmente interesadas en los problemas de la rotura espontánea, debida a la corrosión bajo tensión o a la fragilización por hidrógeno, del acero para pretensado.

Se ruega a los miembros de la F.I.P. interesados en este tema, envíen a la Secretaría Técnica de la F.I.P., en Londres, sus nombres, direcciones y una breve descripción de los trabajos de investigación que estén realizando o sus experiencias en este campo.

Si los trabajos enviados se consideran suficientemente interesantes, sus autores serán invitados a participar en la reunión de la Comisión, para presentar sus informes y experiencias y participar en las discusiones.

Con el fin de facilitar la discusión, el número de participantes en esta reunión se limita a 50.

Tan pronto como se decida el lugar y fecha de la reunión se informará a los interesados.

### **COMISION DE LA F.I.P. SOBRE "ESTRUCTURAS SISMICAS"**

La Comisión sobre "Estructuras Sísmicas" inicia ahora un interesante período de cuatro años, hasta el Congreso de Nueva York, en el que se espera habrá de trabajar a plena actividad.

Además de ampliar sus Recomendaciones de Cálculo, la Comisión quisiera realizar nuevos estudios sobre problemas tales como la "Absorción de Energía" y la "Ductilidad" de los elementos estructurales.

El Presidente de la Comisión, Doctor Ban, del Japón, quisiera obtener nuevas colaboraciones de los Grupos Miembros no representados todavía en la Comisión, para poder aprovechar los conocimientos del mayor número posible de expertos.

Se ruega a los técnicos interesados en este tema que deseen contribuir a esta labor, envíen sus nombres, a través de su Grupo Nacional, a la Secretaría de la F.I.P., en Londres.

## NOTAS NECROLOGICAS

Mr. Lyall Holmes (Nueva Zelanda) ha fallecido en agosto de 1970. Mr. Holmes era Presidente del Instituto del Hormigón Pretensado de Nueva Zelanda y representó a Nueva Zelanda, como Presidente de Sesión y en las reuniones del Consejo de la F.I.P., en el VI Congreso de junio de 1970.

También ha fallecido el Doctor Boris Alexandrovich Kalaturov (Rusia). Especialista en el Instituto de Investigación del Hormigón y Hormigón Armado, de Moscú, fue también Profesor del Instituto de Ingenieros de Construcción de Moscú. Era miembro muy activo de varias Comisiones de la F.I.P. y del C.E.B.

El Profesor Beato Kelopuu (Finlandia), murió el 18 de junio de 1970. Fue uno de los más leales miembros del Comité Ejecutivo de la F.I.P. durante cerca de dieciocho años, hasta mayo de 1969.

## NUEVAS PUBLICACIONES

### Recomendaciones Internacionales C.E.B./F.I.P. para el Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón.

La edición de junio de 1970 de las "Recomendaciones Internacionales C.E.B./F.I.P. para el Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón", se puede ya adquirir, en inglés, francés o alemán, al precio de 10 libras cada ejemplar, dirigiendo los pedidos a:

Publications Sales  
Cement and Concrete Association  
Wexham Springs  
SLOUGH SL3 6PL (Inglaterra).

Se pueden también conseguir, en versión rusa, en el Instituto del Hormigón y Hormigón Armado Gosstroy, U.S.S.R., Prospekt Marx 12, Moscú, Rusia.

La F.I.P. no tiene ejemplares de la edición rusa y las peticiones correspondientes deberán enviarse directamente al citado Instituto, en Rusia.

Igualmente, se van a publicar los Apéndices a las "Recomendaciones", también en versión inglesa, francesa y alemana, al precio de 2 libras el ejemplar. Contienen seis Apéndices en los cuales se tratan los siguientes temas:

1. Recomendaciones internacionales para la homologación y control de calidad de los aceros de alta adherencia.
2. Especificaciones técnicas para el suministro y recepción de los aceros para armaduras de pretensado.
3. Recomendaciones internacionales para el cálculo y construcción de vigas de gran canto.
4. Recomendaciones internacionales para el cálculo y construcción de cimentaciones.
5. Normas especiales sobre la resistencia al fuego.
6. Durabilidad del hormigón pretensado.

## INFORME ESPECIAL NUM. 9 DE LA F.I.P.

“Resistencia del hormigón y hormigón armado a temperaturas bajo cero”. Por el Doctor V. M. Moskvín. Se puede adquirir en las Oficinas de la F.I.P., al precio de 10 chelines cada ejemplar.

### ESCALERA EN ESPIRAL DE HORMIGON PRETENSADO

En la Central hidroeléctrica subterránea de la presa de Susqueda (España), se ha construido, en hormigón pretensado, por Hidroeléctrica de Cataluña, S. A., una escalera en espiral, que une dos plantas sucesivas salvando una altura vertical de 6 metros. La estructura describe un giro de 360° y está construida totalmente en voladizo. El Ingeniero autor del proyecto ha sido don Arturo Rebollo.

### REPLICA EN HORMIGON DE LA CRUZ DE SAN JUAN, DEL SIGLO IX, EN IONA

La primitiva Cruz de San Juan, del siglo IX, de la isla de Iona, en la costa occidental de Escocia, ha sido reemplazada ahora por una réplica en hormigón pretensado.

La cruz original fue derribada y dañada, repetidas veces, por las inclemencias del tiempo. Los distintos trozos de la misma fueron cuidadosamente unidos para poder hacer un molde de yeso, con el cual se construyó la nueva cruz de hormigón. El cuerpo de la cruz de piedra original se conserva actualmente en un sitio resguardado, especialmente construido al efecto.

### PUBLICACIONES NACIONALES

Se han editado recientemente las publicaciones siguientes, referentes al hormigón pretensado:

*Suiza:* SIA 162 “Normas para el cálculo y construcción de estructuras hormigón, hormigón armado y hormigón pretensado”. (En alemán.)

*Rusia:* “Estructuras de hormigón pretensado: Teoría y Cálculo”, por V. V. Mikhailov. Esta obra ha sido traducida al inglés y publicada por la “National Lending Library for Science and Technology”, de Boston Spa, Yorkshire, Inglaterra, en tres volúmenes, al precio de 5 libras.

La obra del Profesor Mikhailov ha sido patrocinada por el Ministerio de Educación ruso, y adoptada como libro de texto en la Universidad de Ingenieros Industriales y Civiles. Fue publicada originalmente en 1963.

Además de los capítulos generales sobre materiales, selección y cálculo de secciones y pérdidas de pretensado, el libro contiene también varios ejemplos de cálculo de estructuras pretensadas y un capítulo especial dedicado al estudio económico del hormigón pretensado.

## CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO SOBRE HORMIGON

Estos Cursos, que desde hace años viene organizando la Cement and Concrete Association, se han convertido ahora en obligatorios para la formación de un gran número de técnicos dedicados a la industria de la construcción en Inglaterra. A ellos asisten también cada vez más especialistas de otros países.

Estos cursos se llevan a cabo en el Training Centre, situado sólo a unos 37 km de Londres. A continuación se indica uno de estos cursos que puede ser de interés para técnicos en hormigón de todas las partes del mundo.

*Tecnología Superior del Hormigón.* — Se trata de un curso de seis semanas (dividido en dos partes, de tres semanas cada una) que finaliza con un examen para obtener el Diploma del Instituto "City and Guilds of London" sobre Tecnología Superior del Hormigón.

En este curso se estudian los siguientes temas: cementos; áridos; comportamiento y propiedades del hormigón; dosificación; hormigones premasados, ligeros, pesados y otros hormigones especiales; encofrados; acabados especiales; productos prefabricados; fundamentos del hormigón armado; costos y ensayos estructurales.

Fechas: 19 de abril - 7 de mayo, 1971 (1.<sup>a</sup> parte).

15 de noviembre - 3 de diciembre, 1971 (2.<sup>a</sup> parte).

La Cement and Concrete Association organiza, aproximadamente, 70 cursos diferentes, algunos de los cuales se repiten varias veces durante el año. Los que deseen más amplia información sobre cualquiera de estos cursos deberán dirigirse a:

The Registrar  
Conference and Training Centre  
Cement and Concrete Association  
Fulmer Grange  
Fulmer SLOUGH SL2 4QS (Inglaterra)

## PROTECCION DEL ACERO EN PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO

Un informe sobre "Protección del acero en puentes de hormigón pretensado" (National Cooperative Highway Research Program Report, n.º 90) ha sido recientemente publicado por el Highway Research Board, de Estados Unidos.

En vista del interés actual de este tema y de los comentarios hechos sobre el mismo en el VI Congreso de la F.I.P., en Praga, de junio de 1970, por el Presidente de la Comisión de la F.I.P. sobre "Aceros para pretensado" (publicados en las "Notas de la F.I.P., número 30"), a continuación se incluye el resumen de dicho informe publicado por el Highway Research Board.

El informe está basado en el examen de 12.000 puentes, aproximadamente, construidos en todas partes de los Estados Unidos, y con hasta dieciséis años de servicio. Además de las conclusiones señaladas en este resumen, el informe hace una serie de sugerencias para futuras investigaciones en este campo, e incluye una extensa lista de referencias sobre todos los aspectos de la corrosión; una reseña de distintos trabajos sobre la corrosión del ace-

ro para pretensado en el hormigón, y un Apéndice en el que se estudian los posibles recubrimientos protectores.

Se han hecho estudios sobre los factores que afectan a la corrosión del acero en puentes de hormigón pretensado y los métodos posibles para disminuir los riesgos de corrosión. Para ello se han realizado tanto ensayos en laboratorio como en obra.

Los ensayos en laboratorio se hicieron para determinar si la rotura frágil del acero para pretensado podría ser producida por fragilización por hidrógeno, por corrosión bajo tensión o por fisuración por  $H_2S$ . Los ensayos demostraron que no se produce fisuración por fragilización por hidrógeno ni por corrosión bajo tensión cuando el acero para pretensado se encuentra rodeado de hormigón en el que no existen iones de cloro libre. En cambio, sí se puede presentar la fisuración por  $H_2S$ , y se considera que puede ocasionar problemas importantes si el recubrimiento de hormigón es inadecuado o si el pH del hormigón disminuye por carbonatación.

Los estudios sobre el mecanismo de la corrosión demostraron que es necesario una concentración de oxígeno para que el acero se corroa si se encuentra sometido a un ambiente análogo al que le rodea cuando está embebido en el hormigón de una pieza.

Las curvas de polarización anódica, determinadas por potencial estático, demostraron que los cloruros del hormigón destruyen la pasividad del acero y que el nivel crítico de cloruros por debajo del cual puede asegurarse que la corrosión no habrá de ocurrir es extremadamente bajo. Otros estudios han confirmado que para prevenir la corrosión del acero en ambientes análogos a los originados por un hormigón conteniendo cloruros es preciso utilizar una gran cantidad de sustancias inhibitoras tales como el  $NaNO_2$ .

Con el fin de estudiar el comportamiento de varios tipos de recubrimientos protectores se hicieron ensayos aplicándolos a muestras de acero para pretensado. Los recubrimientos que demostraron más posibilidades de éxito fueron el galvanizado por baño caliente y los productos epoxi. Con ninguno se lograron, sin embargo, todos los requisitos correspondientes a un recubrimiento ideal. La galvanización disminuye la resistencia del acero y aumenta la relajación. Además, la capa de cinc no resulta totalmente inerte cuando se encuentra rodeada de hormigón que contenga cloruros libres.

El recubrimiento de epoxi da una protección excelente contra la corrosión, pero su resistencia al desgaste es defectuosa, no resulta fácil de aplicar y además es caro.

Ensayos con vigas pretensadas expuestas a soluciones de  $NaCl$  al 3,5 por 100, demostraron que eran necesarios recubrimientos de hormigón de más de 3/4 de pulgada (19 milímetros) de espesor para lograr una eficaz protección de las armaduras aún en ensayos a corto plazo. Las fisuras, de tan sólo 0,004 in. (0,1 mm) de anchura en la superficie del hormigón, permitieron que se produjese una rápida corrosión. En cambio, las microfisuras demostraron no ser peligrosas en las condiciones en que se realizó el ensayo.

Mediante los estudios en laboratorio sobre el comportamiento de morteros de inyección se obtuvo información sobre la influencia de distintas variables, tales como la relación agua/cemento, el tipo y cantidad de aditivos y los tiempos de mezclado. Se hicieron también ensayos sobre inyección en piezas reales para comprobar los resultados de las experiencias efectuadas en laboratorio. Se inyectaron diversos conductos, con una longitud máxima de 321 pies ( $\approx 98$  m) y una relación entre la sección de armadura y el área del conducto de 0,25. Los resultados fueron satisfactorios. De estos estudios se dedujo una expresión teórica para determinar la presión del mortero, la velocidad de la inyección y

la distancia máxima entre la bomba de inyección y el conducto, en función de la relación entre la sección de armadura y el área del conducto.

El examen de las armaduras extraídas de fragmentos de puentes y pilotes pretensados que habían estado expuestos a ambientes fuertemente agresivos durante largos períodos de tiempo, demostraron que, virtualmente, no se había producido corrosión ni perjuicios en las características del acero. Estas observaciones unidas a las otras muchas comprobaciones efectuadas a lo largo de los estudios realizados, permiten deducir que el hormigón, cuando se utiliza en forma adecuada, puede proporcionar a los aceros de pretensado una protección eficaz, a largo plazo, contra la corrosión.

Los que deseen ampliar esta información pueden dirigirse a:

USA Highway Research Board  
2101 Constitution Avenue  
Washington D.C. 20418 (Estados Unidos)

### **ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PRETENSADO EXPUESTAS A LOS EFECTOS DE LAS MAREAS**

La utilización del hormigón pretensado en la construcción de una nueva estructura destinada a servir al mismo tiempo de muelle y rompeolas, constituye una interesante muestra de confianza en la durabilidad de este material bajo condiciones ambientales francamente adversas.

El nuevo rompeolas y muelle se ha construido en un pequeño estuario, comunicado con la bahía de Funday, en New Brunswick (Canadá), donde la carrera de marea alcanza los 25 pies (7,60 m).

Según puede verse en la sección transversal de la figura, la estructura tiene 40 pies (12,20 m) de anchura y su longitud es de 406 pies ( $\approx$  124 m). La altura de la plataforma del muelle sobre el nivel de baja mar es de 28 pies (8,5 m), y va apoyada sobre pilotes constituidos por tubos de acero de 14 pulgadas (35,6 cm) de diámetro, rellenos de hormigón.

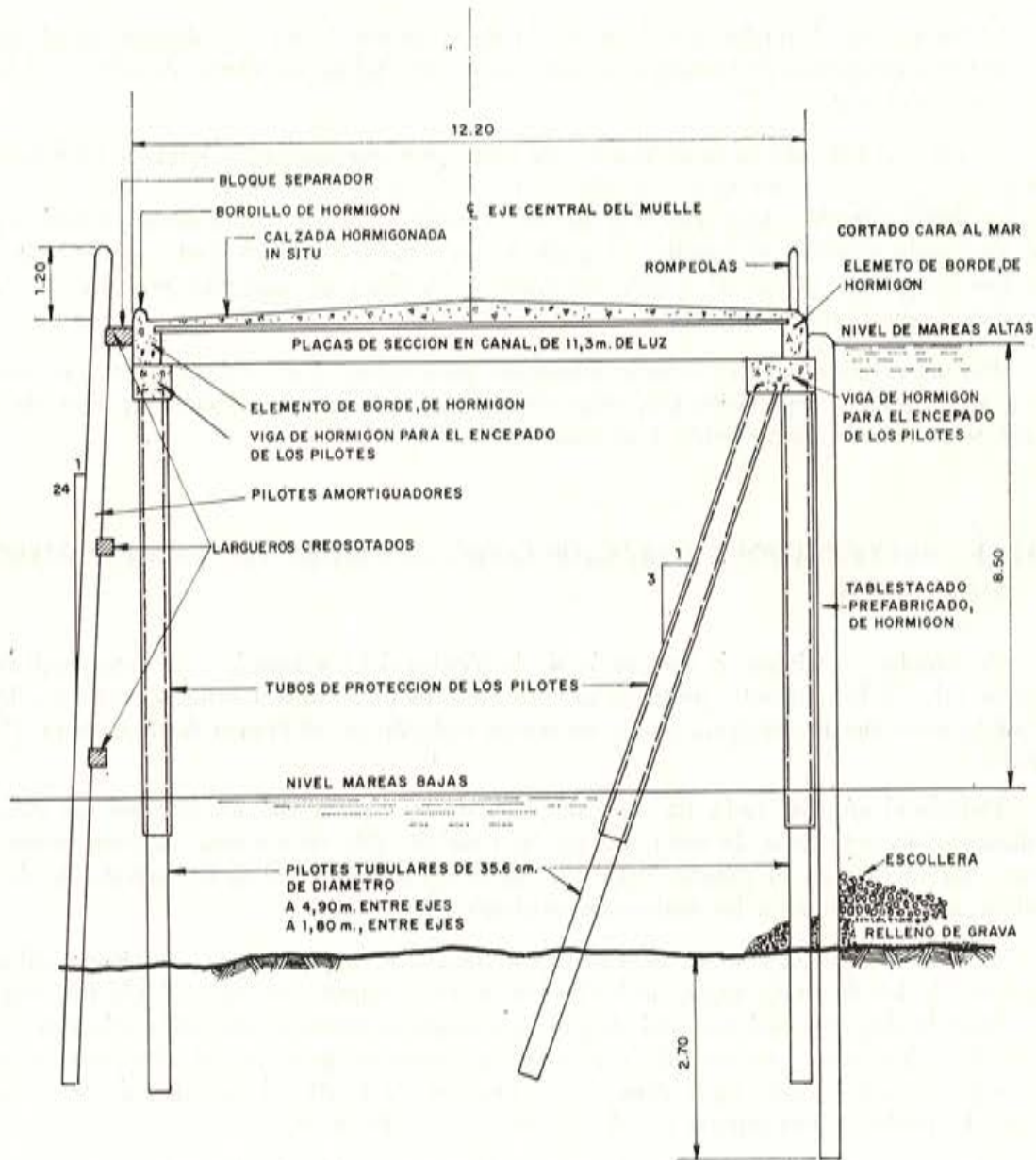
A lo largo del lado que mira al mar se han dispuesto por parejas pilotes verticales e inclinados situados a una distancia entre ejes de 6 pies (1,80 m). Los pilotes inclinados tienen una pendiente de 1 a 3. A lo largo del lado opuesto, el que mira a la costa (debe señalarse que éste es el costado al que atracan las embarcaciones), sólo existen pilotes verticales colocados cada 16 pies (4,90 m).

Para proteger contra la corrosión la parte de los pilotes que queda por encima del nivel de baja mar, éstos se introducen en tubos corrugados de 21 pulgadas (53,5 cm), de fibrocemento, recubiertos de asfalto y el hueco entre los dos tubos se rellena de hormigón.

Los pilotes están unidos por su cabeza superior, mediante vigas de hormigón armado, que corren a todo lo largo de los dos costados del muelle, y sobre los cuales apoyan las placas prefabricadas que forman la plataforma del muelle.

Estas placas están constituidas por piezas de hormigón pretensado, de sección en canal, con luces de 37 pies (11,3 m) y calculadas para soportar una sobrecarga de 6,3 N por metro cuadrado. Van recubiertas con una capa de hormigón vertido in situ de 4 pulgadas (10,2 cm) de espesor. La unión entre las piezas que forman la plataforma o tablero

del muelle y la viga que encepta las cabezas de los pilotes se realiza hormigonando in situ un elemento de borde, que completa el tablero y en el cual quedan embebidas las armaduras salientes de la viga de encepado y de las piezas en canal de la plataforma. A lo largo del costado que mira al mar, en este elemento de borde se introducen también las armaduras salientes del tablestacado de hormigón pretensado que protege este costado del muelle. Con el fin de evitar que se muevan las piezas de sección en canal du-



Sección transversal de la estructura del muelle.

rante el hormigonado del elemento de borde y de la capa superior de la plataforma, se sueldan unas barras salientes, de acero ordinario, dispuestas en dichas piezas, a los cerros salientes de la viga de encepado de los pilotes.

El lado que mira al mar y la punta del muelle van protegidos por un tablestacado de hormigón pretensado, que actúa como rompeolas. Este tablestacado está formado por piezas prefabricadas que tienen 26 pulgadas (66 cm) de anchura y 16 pulgadas (41 cm) de espesor y que se hincan, por medio de un martillo diesel, en el terreno del fondo hasta una profundidad de 9 pies (2,70 m). Su sección transversal es en ranura y lengüeta, para que encajen perfectamente unas en otras, y están proyectadas para resistir el embate de olas de hasta 8 pies (2,4 m) de altura.

El tráfico por el muelle queda protegido de la acción de las olas durante la pleamar por un muro rompeolas de hormigón armado de 4 pies (1,2 m) de altura, situado en el costado que da al mar.

Una de las ventajas de la utilización de elementos prefabricados para el tablero del muelle es que tan pronto como se colocan son capaces de soportar el paso simultáneo de un remolque cargado y una grúa, con lo cual, a medida que se recibía la maquinaria auxiliar destinada a utillar el muelle, se podía ir montando. Por otra parte, se evitaba tener que cargar las piezas de sección en canal del tablero, en barcazas, para transportarlas hasta la punta del muelle.

Tampoco fue necesario utilizar encofrado para construir el tablero, lo cual en zonas de grandes mareas representa una gran ventaja, ya que la construcción en ellas de un encofrado resulta siempre lenta y costosa.

## **CABLES PRETENSADOS UTILIZADOS COMO ANCLAJES DE TABLESTACADOS METALICOS**

En muchas ocasiones, la aplicación de la técnica del pretensado a un caso particular, que se sale de lo corriente, presenta un gran interés y conduce a futuros progresos. Uno de estos casos fue la construcción de un nuevo malecón en el Puerto de Rotterdam (Holanda).

Debido al número, cada día creciente, de barcos que entran en este puerto y a la utilización de petroleros de cada vez mayor tonelaje (250.000 t o más), se hizo necesario ensanchar la entrada al puerto. Para ello, se dragó un nuevo canal de navegación de 19 metros, y se prolongaron los malecones existentes.

Para la construcción de los malecones fue necesario transportar unos cinco millones y medio de toneladas de rocas, de las cuales parte se trajeron en barco desde Escandinavia. Para la descarga del material llegado por barco se construyeron unos robustos muelles con embarcadero por un lado y convenientemente utillados por el otro para facilitar la carga de unos barcos especialmente construidos (de 1.200 t de capacidad) para transportar la piedra y descargarla en el malecón en construcción.

Estos muelles especiales son de 200 m de longitud y 70 m de anchura. Su superficie superior se utiliza como almacén para las piedras partidas, de tamaños que varían entre los 300 kg y los 6.000 kg. Se construyeron mediante dos tablestacados paralelos, metálicos, con una separación de 70 m. Originalmente se había proyectado que cada tablestacado tuviese su propio muro de anclaje. Pero un estudio posterior demostró que la unión de los anclajes de las dos líneas de tablestacas era una solución mejor y más económica.

La cantidad de piedra almacenada en el muelle producía grandes sobrecargas, y esto, unido a las características del terreno, daba lugar a fuertes asentamientos, por lo que hubo que adoptar las oportunas medidas para evitar tensiones excesivas en los anclajes. Estas medidas consistieron en disponer articulaciones cerca de las tablestacas y utilizar cables pretensados como anclajes.

La sustitución de los tirantes normales, constituidos por redondos de acero ordinario, por cables, permitió, dada la mayor flexibilidad de éstos, eliminar las importantes tensiones de flexión que de otro modo se hubiesen producido a consecuencia de los asentamientos.

Cada tablestaca estaba unida mediante una articulación, a un redondo de acero ordinario anclado a un estribo constituido por dos viguetas metálicas. A su vez, los estribos correspondientes a las dos líneas paralelas de tablestacas se enlazaban entre sí mediante cables BBRV, formados por 55 alambres de 6 mm de diámetro. Para evitar la corrosión, los cables iban alojados en tubos rígidos de plástico, que una vez teso los cables se rellenaron inyectándolos.

Antes de rellenar con arena el espacio comprendido entre las dos líneas de tablestacas, se tesaron los cables al 55 por 100 de su resistencia a rotura, como máximo.

Los muelles así construidos resultaron económicos y seguros desde el punto de vista estructural. Además, ofrecen la ventaja adicional de poderse desmontar fácilmente.

En la fotografía 1 pueden verse las viguetas metálicas de los estribos y los cables pretensados.

La fotografía 2 muestra el detalle de la unión de los redondos de anclaje y de los cables a las viguetas. También se aprecian las articulaciones dispuestas entre los redondos y las tablestacas.

Ambas fotografías corresponden al extremo del muelle, en donde los tablestacados ya no son paralelos.

OBSERVACIÓN: En este número de las "Notas de la F.I.P." se incluye, finalmente, el artículo titulado: Edición "Praga 1970" de las "Recomendaciones Internacionales para hormigón armado y hormigón pretensado", por el Prof. Ing. Franco Levi, Presidente h.c. del C.E.B. y Presidente honorario de la F.I.P.

Este interesante artículo del Profesor Levi, en el que se comentan las principales novedades que ofrecen las "Recomendaciones" aprobadas en el VI Congreso de la F.I.P., celebrado en Praga, en junio de 1970, ha sido ya reproducido íntegramente en el número 97 de nuestra REVISTA DE HORMIGÓN Y ACERO. A él remitimos a nuestros lectores.

# notas de la F.I.P.

n. 32, enero 1971

## ENCUESTA INTERNACIONAL SOBRE ARIDOS LIGEROS

Durante los últimos doce meses se ha llevado a cabo, entre los Grupos Miembros de la F.I.P. una encuesta internacional sobre la producción y utilización de los áridos ligeros.

Se han recibido respuestas de 26 países; a continuación se incluye un resumen de las mismas.

Las respuestas completas se conservan en la Secretaría de la F.I.P., en Londres, de la que se puede solicitar la información adicional que se desee.

Con vistas a una racionalización de la investigación que actualmente se está llevando a cabo en todo el mundo, y para redactar un programa conjunto de los trabajos que es necesario realizar en el futuro, se ha celebrado un coloquio mixto de las Comisiones del C.E.B. y de la F.I.P. sobre "Hormigón Ligero", en Moscú (Rusia) durante los días 27 y 28 de octubre de 1970. Este coloquio, organizado por los delegados de Rusia en las dos Comisiones citadas, fue precedido por una Reunión conjunta de ambas Comisiones.

Al coloquio, de dos días de duración, sobre la investigación en el campo de los áridos ligeros, asistieron 70 delegados. De éstos, 40 pertenecían a diversos Institutos de Investigación y otros Centros Técnicos rusos interesados en el tema. Varios de ellos eran miembros del "Instituto Nacional de Investigación del Hormigón y Hormigón Armado" de Moscú. Los 30 delegados restantes procedían de una docena de países.

La primera sesión estuvo dedicada a la presentación de los informes sobre los trabajos de investigación realizados o en realización, en los diferentes países representados.

Entre otros informes cabe destacar los siguientes:

*Rumania.* — Informa que, actualmente, se está utilizando escoria basáltica, como árido, en la construcción de edificios prefabricados en serie.

Tanto la fluencia como la retracción de los hormigones fabricados con este tipo de árido son altas, pero su resistencia a la acción del hielo es satisfactoria.

*Holanda.* — Se están realizando trabajos para investigar la deformación de probetas, cargadas mono y biaxilmente, utilizando varias calidades de hormigón ligero y distintos métodos de carga, en ensayos de diferente duración. También se efectúan ensayos de resistencia al fuego. Estos han demostrado que las piezas construidas con hormigones ligeros se descascarillan rápidamente bajo la acción del fuego. Se continúan los estudios sobre el particular.

*Rusia.* — Se han investigado, en varios laboratorios, las propiedades de la "Keramzite" (un hormigón de arcilla expandida, con  $\gamma = 1,8$  y una resistencia de 15 a 40 MN/m<sup>2</sup>). También se estudiaron los problemas de pandeo. En algunas regiones rusas se utilizan con frecuencia áridos porosos naturales, tales como tobas, piedra pómez y piedra caliza. En relación con estos materiales se realizan investigaciones para determinar su resistencia a tracción, compresión, esfuerzo cortante y fatiga bajo cargas dinámicas.

Uno de los delegados rusos explicó que la investigación sobre las propiedades de los materiales iba generalmente acompañada de estudios sobre estructuras de edificios y sobre productividad. Varios oradores han señalado, como uno de los temas de mayor interés, la tecnología de la fabricación en serie de estructuras de hormigón construidas con áridos ligeros.

*Alemania Occidental.* — La influencia de las resistencias de los propios áridos sobre la resistencia a compresión de hormigón, se ha estudiado por medio de modelos proyectados para demostrar el mecanismo de transmisión de las cargas en el interior del hormigón. De estos estudios se ha deducido una ecuación para la determinación de la resistencia en función de las siguientes variables: resistencia a la tracción del mortero; módulo de elasticidad del mortero, a tracción y compresión; módulo de Poisson y módulos de elasticidad de los áridos.

*Alemania Oriental.* — Se destaca nuevamente la necesidad de que, todas las investigaciones, vayan acompañadas con el desarrollo de nuevos métodos de producción acordes con la situación económica propia de cada país.

*Polonia.* — La investigación en este país se orienta a la determinación de las características que es necesario conocer de los áridos ligeros para poder realizar el cálculo de las estructuras. Se han estudiado, particularmente, la Keramzite y la Aglite utilizadas ambas, tanto en hormigón armado ordinario como en hormigón pretensado. En opinión del conferenciante polaco, el hormigón "normal" es simplemente un caso del hormigón ligero, opinión que fue acogida con entusiasmo por parte de todos los asistentes al coloquio.

*Hungría.* — Se están preparando varios manuales sobre el empleo de tobas y otros materiales volcánicos en el hormigón, de acuerdo con el programa de trabajos estructurados por la RILEM. En este informe se pone de relieve la importancia de la homogeneidad en relación con la resistencia de los materiales.

*Checoslovaquia.* — Presentó un interesante programa de investigación sobre la resistencia a la corrosión. Los trabajos fueron realizados sobre distintas obras distribuidas en diferentes lugares del país. Unas estaban ubicadas en zonas montañosas, otras en áreas urbanas y otras en regiones industriales. Los datos recopilados se refieren a estructuras de edades comprendidas entre los cinco y diez años.

*Inglaterra.* — En este informe se confirma la opinión de que el hormigón normal no es más que un caso especial del hormigón ligero y se destaca en todos los programas de investigación desarrollados en la "Building Research Station" siempre que es posible se incluye el hormigón ligero.

En la actualidad se está realizando un programa de investigación básica, tanto teórica como experimental, sobre cómo estos materiales resisten los diversos tipos de esfuerzos. También se han estudiado en Inglaterra los problemas de las deformaciones a largo plazo y de la fluencia.

Con respecto a los futuros programas de investigación se han propuesto varios temas realmente interesantes.

En Polonia se estudiarán los efectos de las uniones entre muros y forjados y, al mismo tiempo, los efectos de las cargas de larga duración sobre las deformaciones.

En Alemania Oriental se investigará sobre la utilización de encofrados deslizantes con los hormigones ligeros. En Rumania se van a realizar estudios económicos sobre el pretensado parcial y ensayos para determinar las longitudes de anclaje en las piezas fabricadas con hormigones ligeros. En Alemania Occidental se efectuarán nuevos ensayos sobre la resistencia al fuego.

Los delegados rusos enviarán varios informes sobre los programas de investigación que han sido aprobados, en su país, para su desarrollo en un futuro próximo.

Se destaca que, en general, la solución económica a muchos de los problemas que plantea la fabricación en serie sólo se logra utilizando hormigones ligeros. Se señala también el creciente uso de la Agloporita (un árido constituido por cenizas volantes sinterizadas y pulverizadas) en la construcción de un gran número de estructuras de muy diferentes tipos.

Uno de los delegados holandeses comentó que, al menos en su país, a pesar de que el precio de los áridos ligeros es, aproximadamente, el doble del de los áridos normales, los hormigones con ellos fabricados resultan económicos.

La sesión final se dedicó a discutir diferentes propuestas de investigación para el futuro y la mejor forma de coordinarlas.

Se formularon muchas propuestas y finalmente el presidente de la Sesión hizo un resumen de las mismas, que es el que se indica en el cuadro adjunto.

### **Problemas de los materiales.**

Se decidió que era necesario proseguir los estudios sobre la variación de las características de los hormigones ligeros con la edad, y sobre la influencia de la dosificación en los módulos de elasticidad. Se acordó también que era preciso desarrollar ensayos normalizados para determinar la fluencia y la retracción. La resistencia a la corrosión de los aceros y la durabilidad del hormigón exigen también nuevas y más amplias investigaciones, particularmente en lo que se refiere a los efectos de las sales anticongelantes en los tableros de puentes.

Las propiedades del hormigón fresco deben también continuarse estudiando. Ofrece particular interés encontrar un método rápido de análisis que permita determinar las propiedades del hormigón a las veinticuatro horas de edad.

Conviene, asimismo, investigar el comportamiento funcional del hormigón, sobre todo con respecto a su resistencia a la penetración frente al agua y los gases.

En cuanto a la investigación que debe realizarse en obra, ofrece primordial interés la relacionada con el contenido de humedad de las masas, el bombeo y la compactación.

### **Problemas estructurales.**

Debe proseguirse la investigación sobre:

- Anclajes en las estructuras de gran tamaño.
- Absorción de energía.

FEDERACION INTERNACIONAL DEL PRETENSADO

INVESTIGACION SOBRE ARIDOS LIGEROS (octubre 1970)

PAISES	Perlita y vermiculita	Piedra pómez	Escoria	Areilla dilatada	Esquisto dilatado	Pizarra dilatada	Escoria expandida	Cenizas volantes sintetizadas y pulverizadas	Otros materiales y comentarios
Africa del Sur ...					* Aglita				
Al. Occidental ...	*	*		Aprox. 600.000 m <sup>3</sup>		*	*	*	
Al. Oriental .....				*		*	*		Agloporita.
Australia .....	*		* 60.000 m <sup>3</sup>		Lyte Crete 750.000 m <sup>3</sup>				
Bélgica .....				Argex 450.000 m <sup>3</sup>					Areilla obtenida por extrusión: 900.000 metros cúbicos (estructural y aislante).
Bulgaria .....				Más de 250.000 m <sup>3</sup>		*			Total de todos los materiales, 630.000 m <sup>3</sup> .
Canadá .....				*	*		*		Total de todos los materiales, 800.000 m <sup>3</sup> .
Checoslovaquia ..				*	*	*	* 335.000 m <sup>3</sup>		
Dinamarca .....				Leca 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>					
España .....	*	*		Leca					Perlas de plástico celular.
Estados Unidos ..	*	*	*	*	*	*	*	*	
Finlandia .....				Leca y Elko					
Francia .....	*			* Leca			*		Coreho expandido. Poliestireno expandido. Puzolana. Total de todos los materiales, 100.000 m <sup>3</sup> .
Holanda .....				* 100.000 m <sup>3</sup>	* 150.000 m <sup>3</sup>				
Hungría .....	* 200.000 m <sup>3</sup>	Tobas 300.000 m <sup>3</sup>		* 100.000 m <sup>3</sup>	*		* 450.000 m <sup>3</sup>		Total aproximado, 1.000.000 m <sup>3</sup> .
Inglaterra .....				Leca 150.000 m <sup>3</sup>	Aglita 200.000 m <sup>3</sup>	Solita 100.000 m <sup>3</sup>	* 500.000 m <sup>3</sup>	Lyttag 300.000 m <sup>3</sup>	
Italia .....				Laterita 200.000 m <sup>3</sup>					
México .....	* 20.000 m <sup>3</sup>								
Noruega .....				Leca 450.000 m <sup>3</sup>					
Nueva Zelanda ..		*	*						Total aproximado, 100.000 m <sup>3</sup> .
Polonia .....				Keranzita 160.000 m <sup>3</sup>	* 300.000 m <sup>3</sup>		* 300.000 m <sup>3</sup>		
Portugal .....				Leca 150.000 m <sup>3</sup>					
Rusia .....	* 800.000 m <sup>3</sup>	* 1.000.000 m <sup>3</sup>		Keranzita 10.000.000 m <sup>3</sup>				* 60.000 m <sup>3</sup>	Agloporita, 1.000.000 metros cúbicos. Aridos porosos naturales, 5.000.000 m <sup>3</sup> .
Suecia .....				Leca 300.000 m <sup>3</sup>					Propuesta: Pizarra dilatada. Escoria expandida.

Suiza	León	350.000 m³
-------	------	------------

**Observaciones:**

Las cifras indican la producción anual.

India, no contestó.

Para mayor información dirigirse a la Secretaría Técnica de la F.I.P.

- Recipientes para líquidos a bajas temperaturas.
- Construcciones a base de grandes paneles, bajo diferentes tipos de cargas.
- Estudio sobre el comportamiento y resistencia de las estructuras a escala natural y su comparación con los resultados obtenidos en los ensayos sobre modelo.
- Resistencia al impacto, torsión, adherencia y fuego.

### **Teoría general.**

- Clasificación de los áridos para su normalización.
- Estructuras compuestas (de hormigones ligeros y normales).
- Problemas económicos.

Finalmente, Mr. Short hizo resaltar un punto que constantemente se ha venido discutiendo en la F.I.P.; la obligación de prestar asistencia técnica a los países en vías de desarrollo.

### **EL PRESIDENTE DE LA F.I.P. VISITA HUNGRÍA**

El Presidente de la F.I.P., Doctor G. F. Janssonius, fue invitado, por el Grupo Miembro húngaro de la F.I.P., a visitar Budapest durante los días 25 a 27 de noviembre de 1970. Esta invitación le fue hecha con motivo de una reunión programada para informar sobre el VI Congreso de la F.I.P. celebrado, en Praga, en junio de 1970.

En esta reunión fueron discutidas y comparadas las "Normas húngaras" y las "Recomendaciones C.E.B./F.I.P. para el cálculo y construcción de estructuras de hormigón". Se hizo también una breve revisión de las estructuras más sobresalientes mostradas, en el Congreso de Praga, durante la sesión dedicada a la presentación de Informes por los representantes de los distintos Grupos Miembros de la F.I.P.

Finalmente, el Doctor Janssonius se dirigió a los reunidos para informarles sobre la labor que vienen desarrollando la F.I.P. y sus Comisiones Técnicas, y sobre los trabajos que se realizan en colaboración con otros organismos internacionales de ingeniería civil.

### **HORMIGON LIGERO ARMADO Y PRETENSADO**

La F.I.P. recibe regularmente del "American Expanded Shale, Clay and State Institute" copias, de su publicación "Concrete Facts", para su distribución entre los miembros de la Comisión sobre "Hormigones ligeros" de la F.I.P. Anteriormente ya se venían reproduciendo en las "Notas de la F.I.P." algunos de los artículos de dicha publicación relacionados con la utilización de los hormigones ligeros en la construcción de estructuras. Deseamos agradecer públicamente, al citado Instituto, la valiosa información que nos facilita.

Uno de los últimos números de la mencionada revista contiene detalles sobre varios edificios, muchos de ellos de gran tamaño, en los que se utilizaron hormigones de áridos ligeros. Se hace también una descripción de algunos de estos edificios.

Asimismo, de vez en cuando, se comentan en estos artículos las características más destacadas de las aplicaciones de los hormigones ligeros: canto reducido de las estructuras

como consecuencia de su menor peso propio, ahorro de acero en las vigas y soportes debido a la misma causa; aumento de la resistencia al fuego; mejores características aislantes; facilidad en el transporte de grandes piezas debido a su poco peso; reducción del tamaño y coste de la cimentación; aumento de la docilidad, y reducción de los plazos de ejecución.

Mientras la mayoría de estos factores han sido ya generalmente aceptados como inherentes a la utilización de los áridos ligeros, es curioso señalar que todavía, con frecuencia, se discute si el empleo de estos áridos es capaz de proporcionar una economía real en el coste total de construcción de una obra.

Particular interés ofrece la descripción de las obras de unos cuarteles para la marina en los cuales el reducido peso de la estructura fue el factor determinante que permitió su construcción en un terreno arenoso sobre una capa de lodo y en una zona sísmica.

#### **Edificio de la "Asociación de Estudiantes", en San José, California.**

En este edificio los elementos resistentes de la estructura de los forjados estaban constituidos por piezas en T, de 23 m de longitud, de hormigón ligero, prefabricadas y pretensadas. Su cabeza superior era de 2,45 m de anchura y el canto total de la pieza era de 76 cm. Dos razones fundamentales justificaban la adopción de este tipo de piezas: en primer lugar, el hormigón ligero, que iba simplemente pintado, posee unas excelentes propiedades acústicas y en segundo lugar, en las regiones sometidas a efectos sísmicos, la reducción del peso propio de las estructuras aumenta la seguridad.

#### **Calgary Place.**

Forma parte de uno de los nuevos proyectos realizados en Calgary, en los cuales se han utilizado estructuras construidas en hormigón ligero. La superficie total de los dos edificios destinados a oficinas es de 81.500 m<sup>2</sup> e incluye teatros, un banco y aparcamientos subterráneos.

Una de las características más interesantes de este proyecto es que en él se ha utilizado el sistema denominado "Plus 15" que consiste en disponer una serie de pasos elevados para peatones, situados a una altura de 4,5 m (15 pies) sobre el nivel de la calle, que unen los distintos edificios a la altura del primer piso, independizando el tránsito de peatones de la circulación de vehículos.

La estructura estaba constituida por un sistema de forjados pretensados, de hormigón ligero, con soportes dispuestos a 9,30 m de distancia entre ejes. Los forjados se construyeron utilizando encofrados en voladizo. En cuatro días de trabajo se completaba cada forjado.

Aun cuando el espesor de las losas de forjado era sólo de 11,5 cm, la utilización del hormigón ligero permitió que resultasen capaces de resistir la acción del fuego durante dos horas, como mínimo.

#### **Edificio de la Plaza Brookhollow, en Dallas, Texas.**

Se considera como uno de los mayores edificios para oficinas construidos, hasta la fecha, totalmente a base de elementos prefabricados de hormigón. La configuración arquitectónica del edificio, caracterizada por sus voladizos extremos ha sido posible gracias a la utilización de elementos prefabricados de hormigón y al pretensado de los soportes.

El edificio tiene 72,5 m de altura y una superficie total útil de 17.500 m<sup>2</sup>. La utilización masiva de hormigón ligero en forjados y muros ha proporcionado una sensible economía en el costo de ejecución.

### **Cuarteles para la marina en la bahía de San Francisco.**

Estos modernos edificios para cuarteles, proyectados para albergar a más de 1.500 hombres, merecen mencionarse por varias razones. En primer lugar toda la superestructura ha sido construida en hormigón ligero, con lo cual se ha logrado un sustancial ahorro en el costo de construcción. Los edificios sólo tienen cuatro pisos, pero los problemas de cimentación han sido muy importantes y merecen un comentario especial.

El edificio se asienta sobre un terreno constituido por una capa de arena de unos 9 metros de espesor, situada encima de otra de fango. Con el fin de estabilizar el terreno y evitar deslizamientos en caso de movimientos sísmicos, se compactó toda la zona donde iban a ser construidos los edificios por medio de pilotes de madera de 6 m de longitud, hincados a 1,5 m de distancia entre ejes. La reducción del peso propio de la estructura, conseguida gracias a la utilización del hormigón ligero en sustitución de los materiales convencionales (1.800.000 kg), fue la causa fundamental que permitió la construcción de dichos edificios en un terreno de condiciones tan desfavorables.

### **PUNTES DE HORMIGON PRETENSADO CONSTRUIDOS EN EL JAPON UTILIZANDO ARIDOS LIGEROS**

Recientemente se ha editado una publicación sobre "Desarrollo de los puentes de hormigón pretensado, utilizando áridos ligeros artificiales, en los ferrocarriles nacionales japoneses", por T. Okabe y M. Sugawara.

De acuerdo con este trabajo, los puentes de ferrocarril, con tramos de hasta 60 metros de luz, en hormigón pretensado, son ahora bastante frecuentes y se tiende hacia luces aún mayores. Por el momento, el objetivo es alcanzar los 100 m en puentes de ferrocarril y 400 m en puentes de carretera.

Se hace notar que en los puentes de vigas construidas con hormigón normal, cuando la luz alcanza los 60 m, el peso propio de la estructura llega a ser igual al doble de la sobrecarga, o aún más. Con el fin de reducir este peso propio, se ha estudiado la utilización de vigas de hormigón ligero, construidas a base de arcilla dilatada. En un tramo especial de la red ferroviaria se construyeron alrededor de 50 puentes utilizando vigas pretensadas de hormigón ligero. Los resultados han sido totalmente satisfactorios.

En la publicación que se comenta se dan detalles muy interesantes sobre ensayos realizados con vigas de hormigón ligero pretensado.

### **DOS CUALIDADES DEL HORMIGON LIGERO**

En uno de los últimos números de la revista *Concrete Facts* publicada por el "Expanded Shale Clay and Slate Institute" de Estados Unidos, se dan detalles sobre una aplicación del hormigón ligero, en la cual se aprovechan dos de las ventajas que proporciona este material.

Se trata de un nuevo bloque residencial de 14 plantas, construido para el personal de un hospital, en Calgary (Canadá), junto con un estacionamiento para 267 coches. Todos los soportes y forjados se construyeron con hormigón ligero, y se estima que el ahorro en peso así obtenido es de unas 1.800 t. Los áridos utilizados eran de arcilla expandida.

Además de dicho ahorro, normal cuando se utiliza este tipo de áridos, se consiguió una ventaja adicional como consecuencia del comportamiento del hormigón ligero en climas como el de Calgary. En dicha localidad es frecuente que, después de una racha de vientos cálidos, se presente un frente ártico, con lo cual la temperatura puede subir o bajar hasta 50° en menos de una hora.

Debido al bajo coeficiente de dilatación térmica del hormigón ligero, comparado con el del hormigón ordinario, los efectos de estos rápidos cambios de temperatura son mucho menores, y, por consiguiente, su utilización resulta muy adecuada en este tipo de estructuras.

#### CALENDARIO DE LAS PROXIMAS REUNIONES DE LA F.I.P.

##### 1971

15 de enero  
(y 16 si es preciso)  
Amsterdam

Comisión de la F.I.P. sobre "Prefabricación"; Grupo de Trabajo sobre "Filosofía del Proyecto" y Grupo de Trabajo sobre "Plásticos".

20, 21 de enero  
Davos

Comisión de la F.I.P. sobre "Aceros para pretensado" y Grupo de Trabajo sobre "Anclajes".

12 de marzo  
Londres

Comisión de la F.I.P. sobre "Cimentación de maquinaria, estructuras y elementos de máquinas".

Verano 1971?  
Holanda

Reunión abierta de la Comisión de la F.I.P. sobre "Aceros para pretensado". Coloquio sobre corrosión bajo tensión y fragilización por hidrógeno. (Limitada a 50 delegados.)

26-28 de mayo  
Dublín

Consejo Administrativo de la F.I.P. y Comisión de la F.I.P. sobre "Práctica de la Construcción".

Mayo  
(entre el 10 y el 15)  
Copenhague

Comisión de la F.I.P. sobre "Hormigones ligeros".

1 de junio  
París

Comisión de la F.I.P. sobre "Resistencia al fuego". (A continuación, durante los días 2 al 4 de junio, se celebrará un coloquio mixto del C.I.B. y otras Asociaciones Internacionales sobre "Seguridad contra incendios".)

Septiembre  
(entre el 19 y el 24)  
Los Angeles-Nueva York

Convención del P.C.I. y reunión del Comité Ejecutivo de la F.I.P., con visita a Nueva York.

## 1972

Marzo Amsterdam	Reunión del Comité Ejecutivo de la F.I.P.
25 de septiembre	Reunión del Comité Ejecutivo de la F.I.P.
26-30 de septiembre	Simposio de la F.I.P. sobre Estructuras sísmicas. Simposio de la F.I.P. sobre Estructuras flotantes y sumergidas. Consejo Administrativo de la F.I.P.
30 de septiembre Tbilisi (Rusia)	Comienzo de las visitas turístico-científicas organizadas como final de dichos Simposios.

## 1974

26 de mayo a 1 de junio Nueva York	VII Congreso de la F.I.P.
---------------------------------------	---------------------------

### NUEVAS AUTOPISTAS EN BELGICA

Dos de las mayores autopistas europeas, la E3 y la E10, pasan por la ciudad de Antwerp, en Bélgica. Los enlaces con estas dos autopistas obligaron a realizar varias obras en los alrededores de la ciudad. Al mismo tiempo, para atravesar el río Scheldt se construyó un nuevo túnel. En todas estas obras se ha utilizado ampliamente la técnica del pretensado.

La E3 es la autopista europea de la costa, que une los puertos principales de la costa oeste, desde Lisboa (Portugal) a Estocolmo (Suecia), mientras que la E10 une Amsterdam (Holanda) con París (Francia). Fue necesario acondicionar el tráfico a través de la ciudad de Antwerp y construir accesos locales a la ciudad. Con este propósito se está construyendo el denominado "Kleine Ring". A continuación se exponen algunos detalles sobre el Kleine Ring y el túnel del Scheldt.

#### Kleine Ring.

Las obras del Kleine Ring incluyen 36 puentes y un viaducto de 1.700 m de longitud, todos ellos de hormigón pretensado.

Los puentes para el paso de las carreteras locales sobre la autopista se proyectaron a base de vigas cajón pretensadas, de canto constante, continuas a lo largo de cuatro o más tramos, de los cuales unos son rectos y otros curvos. El número de vigas cajón en cada puente depende de la anchura del tablero. La estructura del tablero se apoya sobre pilas centrales, situadas en la mediana de la autopista. Las principales ventajas del sistema adoptado son: ahorro de costo debido a la pequeña luz de los tramos; reducción de la altura total de la estructura y, como consecuencia, disminución de las alturas de trincheras y terraplenes y, finalmente, un mejor aspecto arquitectónico de las obras.

Cuando la autopista pasa sobre las calles de la ciudad o los viaductos de acceso, las luces de los tramos correspondientes resultan relativamente pequeñas, y como interesaba que el canto de la estructura fuera el menor posible se adoptó la solución de losas de hormigón pretensado continuas sobre tres o más vanos.

Estas losas van aligeradas mediante huecos longitudinales de sección circular que reducen el volumen de hormigón utilizado. Los soportes de las pilas están articulados en sus dos extremos, el superior y el inferior.

Todos los puentes mencionados fueron construidos in situ. Las luces de los diferentes tramos varían entre 25 y 40 m, y su anchura máxima es de 21 m.

### **Viaducto de hormigón pretensado.**

La estructura de mayor longitud dentro de este conjunto de obras es un viaducto de casi 2 km de longitud. En realidad, son dos estructuras paralelas, cada una de 20,5 m de anchura, separadas por una junta de 2 cm situada a lo largo del eje central. El viaducto llevará ocho carriles de tráfico. En general, la estructura está constituida por vigas prefabricadas de hormigón pretensado, enlazadas entre sí mediante una losa superior de hormigón construida in situ. La distancia entre los pórticos de apoyo, hormigonados in situ, es de 30 m. Las razones por las cuales se recurrió en esta obra al empleo de elementos prefabricados de hormigón fueron entre otras las siguientes:

- Reducción del coste del encofrado, gracias a la fabricación en serie de las vigas normalizadas.
- Eliminación del siempre costoso encofrado para el tablero, gracias a la utilización de placas prefabricadas de hormigón que actúan como encofrado perdido para la losa de dicho tablero y de las vigas transversales de arriostramiento, y, además, forman parte de la estructura una vez concluida.
- Rapidez de construcción.
- Un mayor control de la fabricación de las vigas, con la consiguiente mejora de calidad, gracias a su construcción en una planta centralizada.

En las zonas en que el viaducto cruza las vías principales de tráfico se adoptaron estructuras especiales continuas, construidas in situ, ya que, de otra forma, las vigas principales habrían resultado de longitud superior a la óptima aconsejable para el sistema constructivo a base de vigas y placas prefabricadas.

### **Puente del canal.**

Para el cruce de la autopista sobre el canal Alberto, se proyectaron dos estructuras adyacentes de hormigón pretensado con una junta longitudinal coincidente con el eje de la autopista. Estos puentes describen, en planta, una curva de 470 m de radio, y tienen una pendiente del 4,5 por 100.

Cada estructura está constituida por dos vigas cajón, de canto constante. Consta de tres tramos continuos. La luz del tramo central varía entre 95 y 110 m. El canto de las vigas es de 3,9 m.

### **Estudio económico, comparativo.**

Se informa que se estudió también una solución a base de una placa metálica ortotrópica para el cruce del canal, pero que el estudio comparativo de los costos de ambas so-

luciones demostró que las estructuras de hormigón pretensado resultaban, aproximadamente, un 20 por 100 más económicas que la solución metálica. Se estimó, además, que estéticamente eran preferibles los puentes pretensados.

### **Túnel del Scheldt.**

El túnel comprende dos carriles para vehículos, uno para ciclistas y otro para la línea de ferrocarril. Está constituido por una gran viga cajón de hormigón, de  $47,85 \times 10$  metros de sección y una longitud total de 690 m, de los cuales 511 m van sumergidos. Se construyó en cinco secciones separadas, en un dique seco situado sobre la margen izquierda del río.

Cada sección, después de hormigonada, se trasladó, por flotación, hasta el lugar de su ubicación definitiva sobre una zanja dragada en el lecho del río. Al llegar al sitio adecuado se sumergió hasta apoyarse sobre tres soportes, con lo cual el fondo de la zanja quedaba un metro por debajo de la losa inferior del túnel. A continuación se inyectó arena por debajo del túnel utilizando un método especial desarrollado por la Empresa constructora. De esta manera se formaba un lecho continuo de arena que aseguraba un apoyo uniforme para la sección del túnel.

Las distintas secciones del túnel se unían después entre sí mediante juntas que se hacían inicialmente estancas utilizando bandas de goma que luego se comprimían por medio de gatos hidráulicos aplicados contra los extremos de las secciones del túnel. Una vez ensambladas las sucesivas secciones, se extraía el agua del interior del túnel, con lo cual éste quedaba sometido a la enorme presión externa ejercida por la masa de agua en que se encontraba sumergido (de 20 a 25 m de altura, según el estado de la marea). Este método permitía dar un tratamiento final a las juntas, para lograr su total impermeabilización utilizando láminas metálicas recubiertas de hormigón.

El hormigón de las secciones en cajón que forman el túnel va parcialmente pretensado mediante armaduras activas combinadas con otras pasivas, constituidas por acero de alta resistencia, tanto en dirección longitudinal como transversal.

La fabricación de estos elementos requirió el empleo de 91.000 m<sup>3</sup> de hormigón y 8.450 t de acero. Cada sección flotante desplazaba unas 47.000 t, quedando sólo 10 cm por encima de la línea de flotación.

El volumen total de la excavación, realizada mediante dragas, para la construcción de la zanja en la que va colocado el túnel fue de unos 832.000 m<sup>3</sup>. Esta zanja tuvo que mantenerse abierta durante año y medio.

Las dos secciones extremas del túnel, a las cuales se unieron después las secciones prefabricadas, son de hormigón armado. Fueron las primeras que se construyeron, hormigonándolas in situ directamente en las zanjas al efecto preparadas con el auxilio de dragas.

### **CONSTRUCCION DE LA "WESTERN AVENUE" (WESTWAY), EN LONDRES**

En una de las zonas de Londres con mayor densidad de edificios, a menos de 6,5 kilómetros del centro del West End, se construyó la Western Avenue, que fue inaugurada el 28 de julio de 1970.

El proyecto comprendía la construcción de 4 km de carreteras elevadas utilizándose para todas ellas estructuras de hormigón pretensado.

Todas las carreteras elevadas fueron calculadas para velocidades de 80 km/h y los tramos de acceso para 48 km/h. Como sobrecargas de cálculo se adoptaron las HA exigidas por el Ministerio de Transporte, y se efectuó la comprobación para la carga especial HB, de 180 t.

En toda la zona de las obras existe una base de arcilla, recubierta por una capa de terreno echadizo, y gravas sueltas en algunas partes. Para la cimentación de las pilas se hincaron pilotes cilíndricos de gran diámetro, con el extremo en forma de campana, hasta alcanzar la base de arcilla que, en algunos lugares, se encontraba a 30 m de profundidad. Con el fin de obtener información adicional sobre los posibles asientos del terreno de cimentación se hicieron ensayos especiales utilizando placas de apoyo de 60 cm de diámetro. Además, se ensayaron a rotura dos pilotes especialmente contruidos a tal efecto, y algunos de los utilizados en la cimentación se probaron también bajo las cargas de trabajo.

### Sección 1.

La obra total está dividida en varias Secciones. Una de las principales es la Sección 1, de 1.160 m de longitud, que pasa sobre una carretera principal y varias líneas de ferrocarril. La estructura está constituida por vigas cajón, de hormigón pretensado, con losas laterales en voladizo. En general, los tramos son de 35 m de luz y se construyeron a base de dovelas prefabricadas de unas 45 t de peso. Estas dovelas se construían en una planta de prefabricación situada en St. Albans y luego se transportaban por carretera hasta la obra.

El proyecto de esta Sección presenta dos particularidades que merecen ser destacadas: la primera es que se construyó sin ningún anclaje fijo del tipo normal y la segunda es que para su construcción se dividió en cuatro partes independientes individualmente continuas, que posteriormente se unieron entre sí para formar una estructura monolítica.

El anclaje de esta Sección está constituido por la estructura en anillo de una intersección circular elevada. Dicha estructura se construyó in situ a base de vigas cajón huecas, con voladizos laterales, que descansan sobre apoyos deslizantes dispuestos en las cabezas de los soportes que forman las pilas. Estos apoyos, sin embargo, se proyectaron de forma que sólo pueden moverse en dirección radial, con lo cual los movimientos de la estructura originados por los efectos térmicos se distribuyen uniformemente alrededor del anillo cuyo centro teórico permanecerá, por tanto, fijo. De esta manera el anillo, en su conjunto, actuará como anclaje del resto de la estructura, en todas direcciones. Por otra parte, en los estribos extremos se dispusieron juntas de dilatación.

Para el montaje de los elementos prefabricados y la construcción de los tramos hormigonados in situ se utilizaron cimbras provisionales.

Posteriormente, el conjunto de la estructura se pretensó en dos etapas con el objeto de hacerla capaz de resistir su peso propio y las sobrecargas de utilización. Cada grupo de cables de pretensado se extendía a lo largo de dos tramos, solapándose en el primero de ellos con los cables del grupo anterior. Una vez completado cada tramo se introducía el pretensado correspondiente a la primera etapa, suficiente para soportar el peso propio. En-

tonces se retiraba la cimbra, transportándola al tramo siguiente y, mientras tanto, se introducía la segunda etapa del pretensado en el tramo anterior.

#### **Sección 4.**

Tiene 670 m de longitud y tramos de 15 m de luz. La estructura del tablero está constituida por vigas huecas, de sección en cajón, prefabricadas en hormigón pretensado simplemente apoyadas sobre muros transversales y soportes de hormigón armado.

#### **Sección 5.**

Sirve para salvar la línea principal de los ferrocarriles ingleses a la salida de la estación de Paddington. Su estructura está también constituida por una gran viga de sección en cajón, resistente a torsión, apoyada sobre pilas centrales y con luces de hasta 62 m. Resulta interesante señalar que, para esta Sección, se estudiaron distintas soluciones a base de estructura mixta y de hormigón y acero y de hormigón pretensado. Como resultado de estos estudios se dedujo que la solución más económica era la de hormigón pretensado. Los 19 tramos que forman esta Sección son continuos. Van anclados solamente en uno de los estribos extremos y se construyeron a base de dovelas prefabricadas cada una de las cuales pesa hasta 130 toneladas.

Todos los movimientos son absorbidos por una sola junta de dilatación dispuesta en uno de los extremos. Para resistir los empujes longitudinales originados por esta estructura continua, de 1.140 m de longitud total, se proyectó un estribo especial que transmite las cargas horizontales al terreno, casi exclusivamente mediante las tensiones cortantes desarrolladas a lo largo de las grandes superficies de los muros diafragmas. Esta Sección 5 se construyó, fundamentalmente, de la misma forma que la primera, aunque resultó más complicada por el hecho de encontrarse situada a lo largo y sobre los accesos de una estación principal ferroviaria, con tráfico muy intenso. También suponía una complicación adicional la gran longitud de la estructura continua. Es sin duda, con mucho, la estructura continua de hormigón más larga de Inglaterra. Probablemente, será también la estructura continua de mayor longitud del mundo, construida con un único anclaje.

#### **Sección 6.**

Esta última Sección se construyó con vigas prefabricadas, de sección en cajón, de hormigón pretensado. Van apoyadas sobre pórticos metálicos con luces transversales que varían entre 9 y 17 m. Consta de tramos de 30 m de luz, y su longitud total es de 960 m. A lo largo de 270 m lleva calzadas a dos niveles. La longitud total de la estructura se divide en dos partes continuas, cada una de ellas anclada en un tramo situado, aproximadamente en su centro, y con juntas de dilatación en los extremos. En la base de los pórticos metálicos se dispusieron apoyos deslizantes.

Otras dos secciones forman una ruta de norte a sur y van apoyadas directamente sobre el terreno. Enlazan la carretera elevada Westway con otra de las carreteras principales del oeste.

# notas de la F.I.P.

n. 33, marzo-abril 1971

## COLOQUIO DE LA COMISION DE LA F.I.P. SOBRE "ARIDOS LIGEROS", EN DINAMARCA

La próxima reunión de la Comisión de la F.I.P. sobre "Aridos ligeros" se celebrará en Copenhague, Dinamarca, el jueves 6 de mayo de 1971, conjuntamente con la Comisión XII del C.E.B.

A continuación de esta reunión se celebrará un coloquio el viernes 7 de mayo (y el sábado 8 de mayo, si fuera necesario) sobre el tema "Utilización práctica de los áridos ligeros". Este coloquio se dividirá en tres secciones:

### A) *Propiedades:*

- Durabilidad.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia al fuego.
- Aislamiento acústico.
- Aislamiento térmico.
- Comportamiento bajo muy altas y muy bajas temperaturas.
- Comportamiento en edificios y estructuras reales (fisuración, deformaciones, etc.).

### B) *Cálculo:*

- Elementos sometidos a flexión.
- Elementos sometidos a compresión.
- Estructuras construidas a base de grandes paneles.
- Clasificación de áridos.

### C) *Aplicación:*

- Métodos de fabricación.
- Hormigón premasado.
- Control de calidad.
- Costos.

Los impresos para inscribirse en el Coloquio y presentar comunicaciones se pueden pedir a la Secretaría Técnica de la F.I.P.

## ULTIMAS REUNIONES DE LAS COMISIONES DE LA F.I.P. - "PREFABRICACION" Y "ACEROS PARA PRETENSADO"

Por invitación del Presidente Doctor G. F. Janssonius, la Comisión de la F.I.P. sobre "Prefabricación" se reunió, en Amsterdam, el 15 y 16 de enero de 1971. Durante estos dos días se celebraron también reuniones del Sub-Comité sobre "Filosofía del proyecto", y del Grupo de Trabajo sobre "Plásticos". A estas reuniones asistieron, en total, 15 miembros de las Comisiones y otros expertos.

Varios de los delegados presentaron informes sobre los diferentes temas objeto de estudio en la Comisión principal. Entre ellos pueden citarse uno sobre "Prefabricación en regiones sísmicas", del Profesor Robles (México) y otro sobre "Uniones y condiciones de apoyo en losas prefabricadas y pretensadas", del Presidente de la Comisión, Mr. Bernander (Suecia). Sobre uno de los temas del programa de la Comisión —discusión sobre tolerancias— se recibió un gran número de informes, presentados por Dinamarca, Suecia, Polonia y Holanda. También contribuyeron con trabajos sobre este tema, Yugoslavia, Francia, Rumania y Rusia.

Entre los nuevos temas propuestos para estudio, destacan los problemas relativos a la fabricación de elementos de hormigón por extrusión, y los diferentes métodos adoptados para el control de la calidad.

El Sub-Comité sobre "Filosofía del proyecto" se propone ahora extender sus estudios al campo de los edificios de varias plantas y a la construcción de viaductos a base de dovelas prefabricadas.

El Grupo de Trabajo sobre "Plásticos" se formó para examinar la utilización de los plásticos en la industria de la construcción y presentar una propuesta sobre la posibilidad de crear una nueva Comisión de la F.I.P. para el estudio de este tema.

Fue de gran ayuda la presencia en la reunión de Mr. J. J. Zonsfeld, representante de la "Shell International Chemical Co. Ltd.", que está trabajando en problemas relacionados con la utilización de los plásticos en la edificación. El futuro de este Grupo de Trabajo, se discutirá en la reunión del Consejo Administrativo de la F.I.P., que se celebrará, en Dublín, en mayo de 1971.

### **Aceros para pretensado.**

La Comisión sobre "Aceros para pretensado" y el Grupo de Trabajo sobre "Anclajes" se reunieron en Davos, Suiza, el 20 y 21 de enero. A las reuniones asistieron 22 delegados.

Uno de los problemas planteados en la reunión por el Presidente, Profesor Bruggeling (Holanda), fue el relacionado con las "Especificaciones técnicas para el suministro y recepción de los aceros para pretensado", incluidas en el Informe presentado por la Comisión en el Congreso de Praga, y las dificultades con que se tropieza para lograr un acuerdo internacional sobre estas especificaciones.

Se sugirió, como posible solución, la formación de un "Comité de Usuarios" que intente normalizar los requisitos exigibles a estos materiales.

El Presidente propuso celebrar un simposio, de dos días de duración, sobre "Resis-

tencia a la Corrosión" y "Fragilización por hidrógeno", en Delft, en septiembre de 1971, e invitar a un número reducido de expertos para que tomen parte en el mismo.

El Grupo de Trabajo sobre "Anclajes" ha realizado nuevos progresos en el estudio que tiene encomendado para redactar las "Recomendaciones para la aceptación y Control de Calidad de los sistemas de pretensado". Hasta ahora se tiene terminada la parte relativa a los sistemas para armaduras postesas y en la próxima reunión se iniciará la discusión de los problemas relacionados con el anclaje de las armaduras pretesas. Se ha constituido un pequeño Sub-Comité para redactar las normas de los diferentes ensayos de recepción que han sido propuestos.

#### **NOMBRAMIENTOS DE MIEMBRO DE HONOR OTORGADOS AL VICEPRESIDENTE GENERAL DE LA F.I.P.**

Mr. Ben Gerwick, Vicepresidente General de la F.I.P., ha sido nombrado Miembro de Honor del "Instituto del Hormigón Pretensado" de Estados Unidos y "Beratendes Mitglied" del "Deutscher Beton-Verein" (Alemania Occidental).

#### **SEXTA CONFERENCIA TECNICA DEL INSTITUTO DEL HORMIGON PRETENSADO, DE NUEVA ZELANDA**

La sexta Conferencia Técnica del Instituto del Hormigón Pretensado, de Nueva Zelanda, se celebró en septiembre de 1970, y en ella, como se verá en este breve informe, se prestó gran atención al Congreso Internacional de la F.I.P. celebrado en Praga tres meses antes.

La conferencia se inauguró con unas palabras de emocionado homenaje, por parte del actual Presidente, al trabajo desarrollado por su predecesor, Lyall Holmes, de cuyo fallecimiento se dio cuenta en las Notas de la F.I.P. número 31. Los informes preparados por M. Holmes sobre el trabajo de la F.I.P., formaban parte del programa de esta Conferencia.

Después de los informes de los Comités Técnicos se presentó una comunicación sobre el trabajo de las Comisiones Técnicas de la F.I.P., especialmente preparada por M. Ben Gerwick y basada en los Informes elevados por dichas Comisiones al Congreso de Praga.

P. Jensen, de la STUP, pronunció una conferencia sobre "Perspectivas del Hormigón Pretensado en Europa". Mostró la influencia de diferentes factores económicos en la solución de los problemas estructurales, en particular en relación con los procesos de ejecución. El conferenciante hizo también una descripción de los distintos métodos utilizados en la construcción de puentes a base de dovelas prefabricadas, y trató de la utilización de grandes placas de pequeño canto, con armaduras pretesas, completadas con una capa superior construida in situ.

Otros conferenciantes describieron varias estructuras construidas en Nueva Zelanda, entre ellas, un nuevo aparcamiento en el que se utilizaron vigas en T con armaduras pretesas, de  $17,5 \times 2,4$  m, con losa superior de 75 mm de espesor, hormigonada in situ. Se consiguió así una estructura muy económica. Se describió también la construcción de la estructura para una planta de fundición de aluminio, en Bluff, utilizando

elementos prefabricados y pretensados. Generalmente, este tipo de edificios se construye con estructuras metálicas; pero se demostró que la solución en hormigón, tal y como se utilizó, resultaba más económica y de más rápido montaje.

Una descripción más detallada de esta Conferencia puede verse en el número de la revista *New Zealand Concrete Construction* del 12 de noviembre de 1970.

## **PUENTE SOBRE EL CANAL "HARTEL" (HOLANDA)**

### **Creciente utilización de las colas en las juntas entre elementos de hormigón prefabricado.**

Rotterdam está experimentando un amplio y rápido desarrollo. Como consecuencia, existe un programa de expansión de la Ciudad, y constantemente se construyen gran número de obras de ingeniería civil. Una de éstas (nuevo rompeolas), se describió en las Notas de la F.I.P. número 31. A continuación se incluyen algunos detalles sobre uno de los nuevos puentes construidos.

El puente de Hartel, terminado en 1968, salva un canal utilizado para el suministro de agua potable a la Ciudad y los accesos a dos esclusas. Al mismo tiempo se tiene prevista la construcción de una nueva esclusa bajo su tramo central principal de 114 m de luz. Como el canal se utiliza también para la navegación a vela con embarcaciones de altos mástiles, se construyó en esta zona un puente metálico levadizo de 14 m de longitud, y existe también otro puente análogo de 24 m de largo sobre el acceso a una de las esclusas existentes.

La longitud total del puente es de 584,5 m y su anchura de 17,25 m. El puente lleva cuatro carriles de tráfico más una mediana central y aceras para peatones a ambos lados. Los tramos, contados desde un extremo al otro, son: tres tramos continuos de 30 m de luz cada uno; el levadizo de 14 m; dos tramos continuos de 75 m de longitud total; el tramo central de 114 m; tramos laterales de 67,7 y 84 m; el levadizo de 24 m y, finalmente, tres tramos continuos de 39 m de luz cada uno.

Los tramos continuos menores del principio del puente se construyeron con vigas cajón hormigonadas in situ sobre cimbras provisionales.

El tramo central de 114 m, junto con sus dos tramos continuos adyacentes, fueron construidos a base de dovelas prefabricadas, utilizando colas para las juntas.

La sección transversal está formada por dos vigas cajón iguales, independientes. Tanto los tabiques que forman las almas de las vigas como la losa del tablero tienen un espesor constante (35 cm y 22 cm) en toda su longitud. En cambio, el espesor de la losa inferior varía desde 85 cm cerca de las pilas hasta 26 cm, en el centro.

El canto de las vigas sobre las pilas es de 5,17 m, mientras que en el centro del vano es sólo de 1,50 m.

Las dovelas prefabricadas correspondientes a las secciones de mayor canto son de 3,75 metros de longitud. Las de las secciones más pequeñas son de 4,80 m. De esta forma se consigue que el peso máximo de cada dovela no exceda de 80 t.

Sobre las pilas, las secciones de las vigas cajón llevan diafragmas transversales. Una vez construidas las secciones sobre pilas, se colocaron las dos dovelas adyacentes, uniéndolas mediante resina epoxi extendida sobre las superficies en contacto.

El exacto ajuste de estos tres elementos sobre los apoyos de elastómero se llevó a cabo por medio de gatos planos.

A continuación se fueron añadiendo nuevas dovelas a cada lado, uniéndolas a las anteriores mediante juntas de resina epoxi y manteniéndolas en su posición adecuada por medio del pretensado.

Las riostras extremas del encofrado utilizado para la construcción de las secciones sobre pilas se conservaron durante todo el montaje de estos tramos para ayudar a compensar los voladizos.

El proceso se repitió hasta que los dos voladizos del tramo central alcanzaron una longitud de unos 57 m, la mitad de la luz de dicho tramo. En los tramos laterales todavía quedaban varias dovelas por colocar y para evitar sobrecargar las riostras que ayudaban a soportar los voladizos se pusieron puntales bajo los extremos de los tramos laterales. Tanto el cierre del tramo central como el apoyo extremo de los tramos laterales se efectuó utilizando vigas transversales hormigonadas in situ.

## CARRETERAS EXPERIMENTALES DE HORMIGON PRETENSADO EN LA INDIA

El *Road Research Paper*, número 105, publicado por el "Central Road Research Institute" de la India, contiene un informe sobre el proyecto y construcción de dos tramos pretensados para carreteras. Estos tramos forman parte de una de las autopistas nacionales, sometidas a intenso tráfico, y después de año y medio en servicio puede decirse que su comportamiento ha resultado satisfactorio.

Cada uno de los tramos tiene 122 m de longitud, 3,35 m de anchura y sólo 114 mm de espesor. La cimentación consiste en una capa de 100 mm de espesor de macadán compactado, vertido sobre un relleno de tierra compactada. En cada tramo se dispusieron tres cables de pretensado, cada uno constituido por ocho alambres de 7 mm de diámetro, capaces de proporcionar un esfuerzo total de pretensado, después de todas las pérdidas de 25 kg/cm<sup>2</sup> en los extremos y de 6 kg/cm<sup>2</sup> en la sección central. En los extremos de cada tramo se dispusieron juntas de dilatación, constituidas por placas deslizantes, capaces de absorber movimientos de hasta 50 mm.

Con el objeto de obtener nuevos datos experimentales, uno de los tramos se construyó utilizando la denominada "Técnica de flotación". De acuerdo con este procedimiento se dispuso sobre la sub-base una capa de arena de 20 mm de espesor, y encima de la arena se colocaron tubos circulares de goma, en filas de tres, en dirección transversal al eje longitudinal del pavimento y distanciados entre sí a 1,20 m. A continuación se hormigonó el pavimento sobre unas hojas de papel fuerte colocadas encima de los tubos de goma. Una vez endurecido el hormigón se inflaron los tubos para levantar el pavimento y liberarlo de la coacción producida por el rozamiento. Después se volvieron a desinflar los tubos para bajar el pavimento y dejarlo otra vez apoyado sobre la sub-base.

De estos primeros ensayos parece deducirse que este método reduce la coacción del rozamiento a valores muy pequeños en los momentos iniciales, pero que estas ventajas tienden a desaparecer con el tiempo.

## METODOLOGIA Y TECNICA DE LOS ENSAYOS DE ESTRUCTURAS. MEMORIAS DEL SIMPOSIO INTERNACIONAL

Los "Proceedings" del Simposio Internacional de la RILEM sobre "Metodología y Técnica de los Ensayos de Estructuras a escala natural y sobre modelos, bajo cargas estáticas y dinámicas", celebrado en Bucarest (Rumania), del 9 al 11 de septiembre de 1969, se han publicado en cuatro volúmenes. Su contenido es el siguiente:

- Volumen I: Informes sobre el ensayo de modelos a escala reducida, construidos con materiales diferentes de los utilizados en la estructura real.
- Volumen II: Informes en los que se describen ensayos efectuados sobre modelos de gran tamaño, con características similares a las de la estructura real.
- Volumen III: Informes relativos a ensayos realizados sobre piezas y estructuras a escala natural.
- Volumen IV: Contiene nueve artículos sobre los tres temas anteriores, que no fueron incluidos en los volúmenes I, II y III.

Los "Proceedings" constituyen una revisión muy amplia de todos los trabajos de ensayos sobre modelo realizados en todo el mundo, y en ellos se reproducen 92 artículos en total, redactados por los primeros especialistas en este campo.

Los interesados en adquirir estos "Proceedings" deben dirigirse a:

Swets & Zeitlinger N.V.  
Keizersgracht 471 and 487  
Amsterdam (Holanda)

Su precio es de 40 dólares.

# publicaciones del i.e.t.c.c.

## cuadros de precios **71** c. p.

En esta publicación se pone al día la que, con el mismo título, editó el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento en 1969 adaptándose a la reglamentación vigente. Las Ordenes, Decretos y Convenios Colectivos, así como la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica, que intervienen en el CUADRO DE JORNALES, figuran con sus respectivas fechas de entrada en vigor.

Se han tomado como precios básicos los de la provincia de Madrid, ya que, al ser válidas las descomposiciones de las diversas unidades de obra, bastaría incrementar o disminuir los totales proporcionalmente a las diferencias de jornales o materiales.

En el concepto de "Mano de Obra Indirecta" se incluye la parte proporcional de los jornales: de encargado, capataces, almacenero, listero, etc., fijándose en un 10 % de la "Mano de Obra Directa". Cada unidad de obra se incrementa en el 1 % en concepto de "Medios Auxiliares".

El Cuadro "Precios de Materiales" se ha dividido en capítulos para facilitar su localización, respetando el orden alfabético dentro de cada uno de ellos.

En el Cuadro "Precios Auxiliares" están incluidas las descomposiciones de las unidades de obra, que intervienen a su vez en el Cuadro "Precios Descompuestos", evitando su innecesaria repetición.

Estos cuatro Cuadros de: PRECIOS DE JORNALES, PRECIOS DE MATERIALES con Transporte, Carga, Descarga y Pérdidas; PRECIOS AUXILIARES, y PRECIOS DESCOMPUESTOS, que, con los de MEDICIONES, PRESUPUESTO y RESUMEN GENERAL, componen el DOCUMENTO NUMERO 4 —"PRESUPUESTO"—, son los exigidos para la elaboración de Proyectos de Obras para el Estado, conforme al DECRETO 1.716/1962 ("B. O. del E." de 20 de julio de 1962), del Ministerio de Hacienda.

Todos los precios que figuran en esta publicación se refieren exclusivamente a ejecución material.

Esta edición, como la anterior, ha sido realizada mediante el fotograbado de los datos, obtenidos directamente del ordenador electrónico, asegurando así la garantía de su exactitud para facilitar la labor de todos los profesionales de la construcción.

**Encuadernado en rústica, de 29,7 × 21 cm, compuesto de unas 212 páginas.**

**Madrid, 1971.**

**Precios: España, 400 pesetas. Extranjero, \$ 8.**