

pasarela en el puerto de Wiesbaden-Schierstein

ALEMANIA

sinopsis

Esta elegante obra de ingeniería se construyó para conmemorar el centenario de la fábrica de cemento Dyckerhoff. Se ha realizado por el sistema de voladizos sucesivos a base de hormigón pretensado y empleando hormigones ligeros blancos en su mayor parte. Es muy interesante la utilización de las rampas de acceso como contrapeso del arco, lo que da lugar a un resultado estático original que aligera considerablemente la cimentación, la cual, en este caso, y dadas las malas condiciones del terreno, hubiera resultado costosa en extremo.

DYCKERHOFF & WIDMANN KG

562 - 123

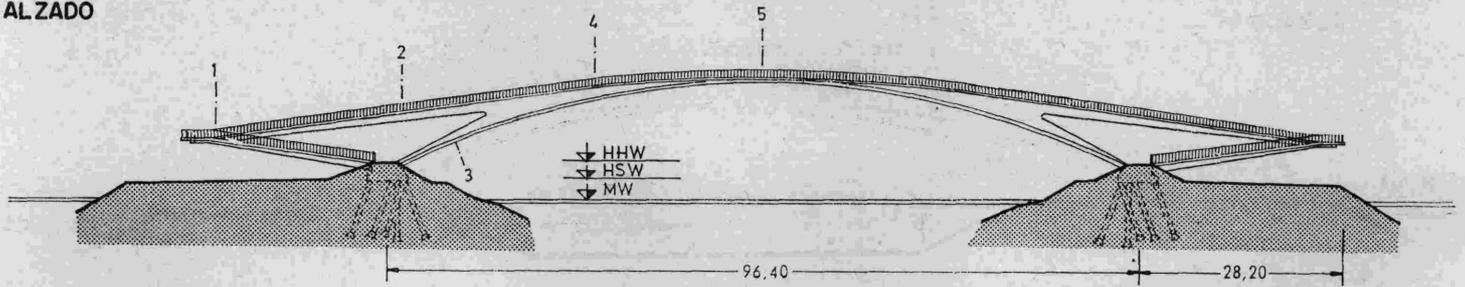
situación

Preliminares

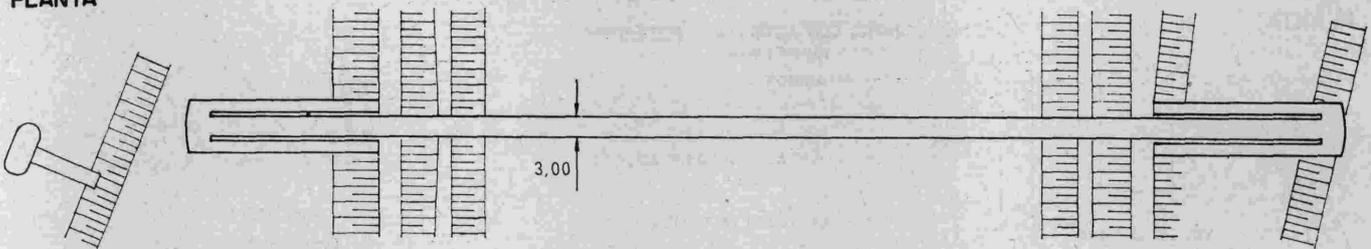
Para celebrar su centenario, la fábrica de cemento Dyckerhoff, en Wiesbaden-Amöneburg, ofreció a la ciudad de Wiesbaden un espléndido regalo de aniversario: el paso elevado para peatones, sobre la entrada del puerto del Rin, en Schierstein, destinado a enlazar Biebrich y Niederwalluf a ambas orillas del río.

La citada empresa había realizado profundos estudios sobre un hormigón blanco ligero y de alta resistencia, denominado LB 300, especialmente indicado para construir arcos de puente por voladizos sucesivos, con hormigón pretensado.

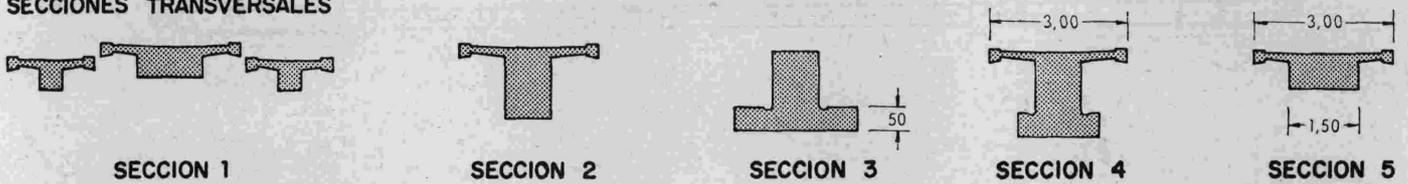
ALZADO



PLANTA

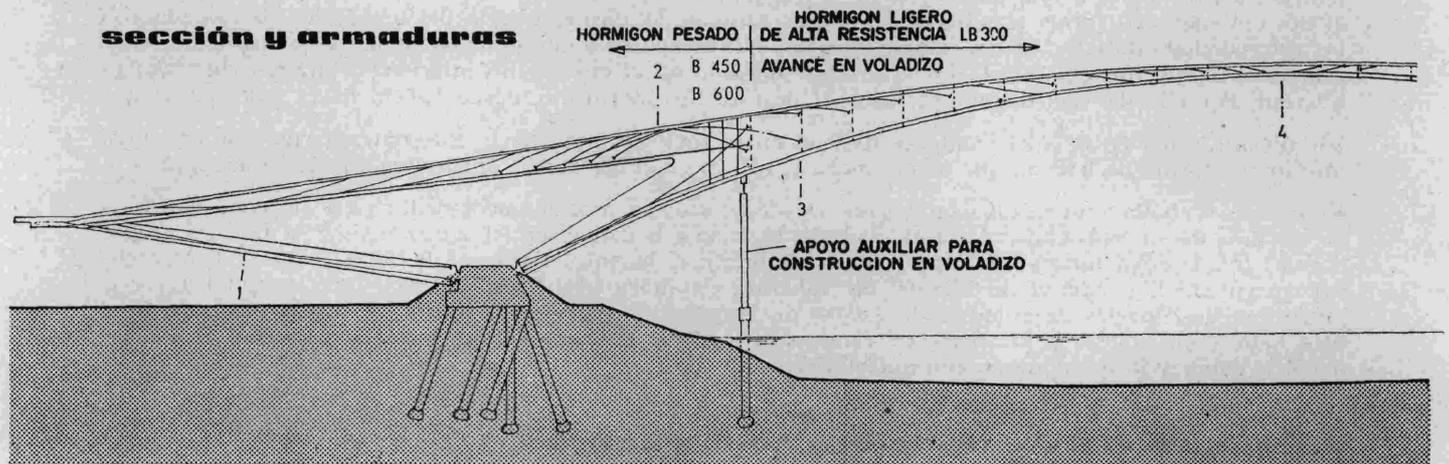


SECCIONES TRANSVERSALES



Con estas dimensiones, dadas previamente por el gálibo de navegación prescrito, tiene estáticamente sentido el sistema de un arco de tres articulaciones, ya que con hiperestaticidad creciente (arcos de dos articulaciones - arco empotrado) crecen rápidamente los esfuerzos, como consecuencia de los acortamientos elásticos del arco, desplazamiento de los apoyos, temperatura, fluencia y retracción. La zona del vértice es tan esbelta, que en ella, y debido a su gran elasticidad, puede prescindirse de una articulación flectora. En los puntos de arranque, el arco se halla articulado a los cimientos.

sección y armaduras



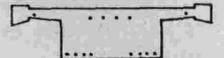
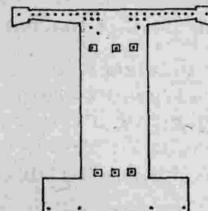
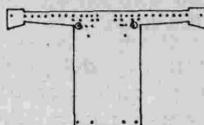
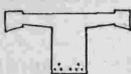
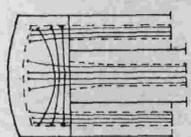
SECCION HORIZONTAL

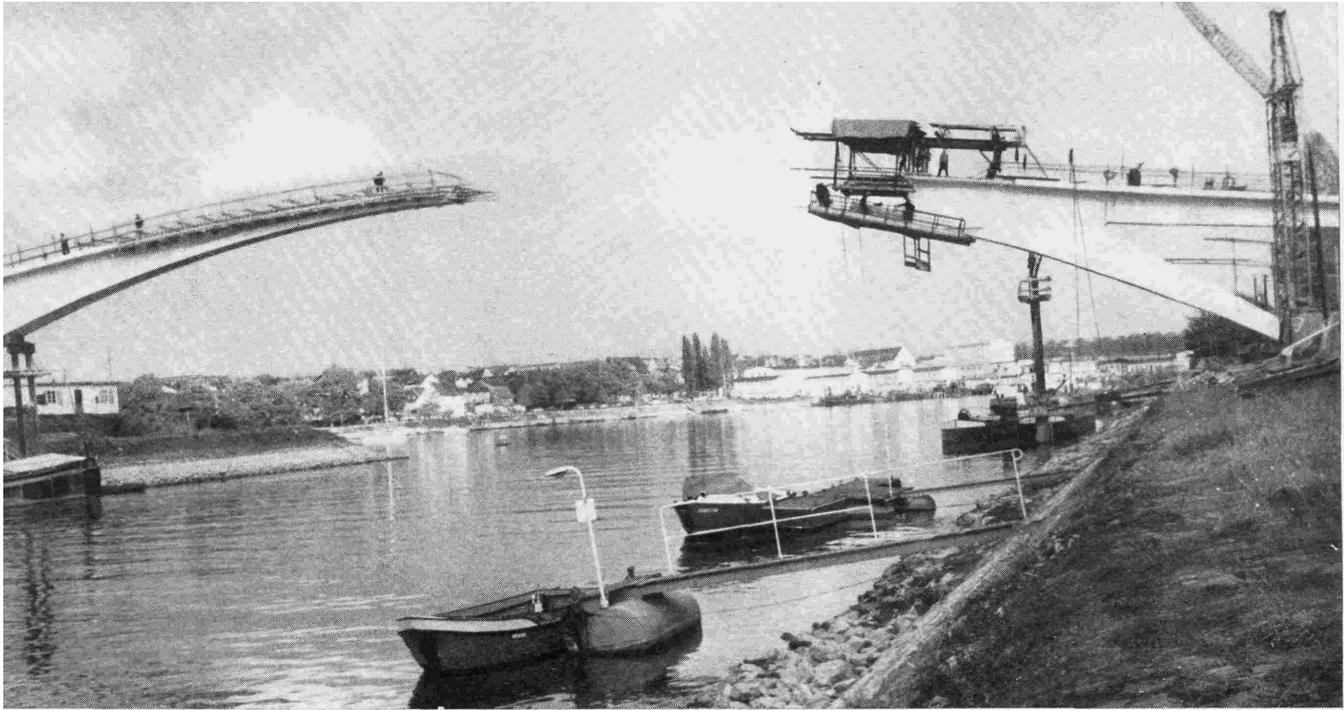
SECCION 1

SECCION 2

SECCION 3

SECCION 4





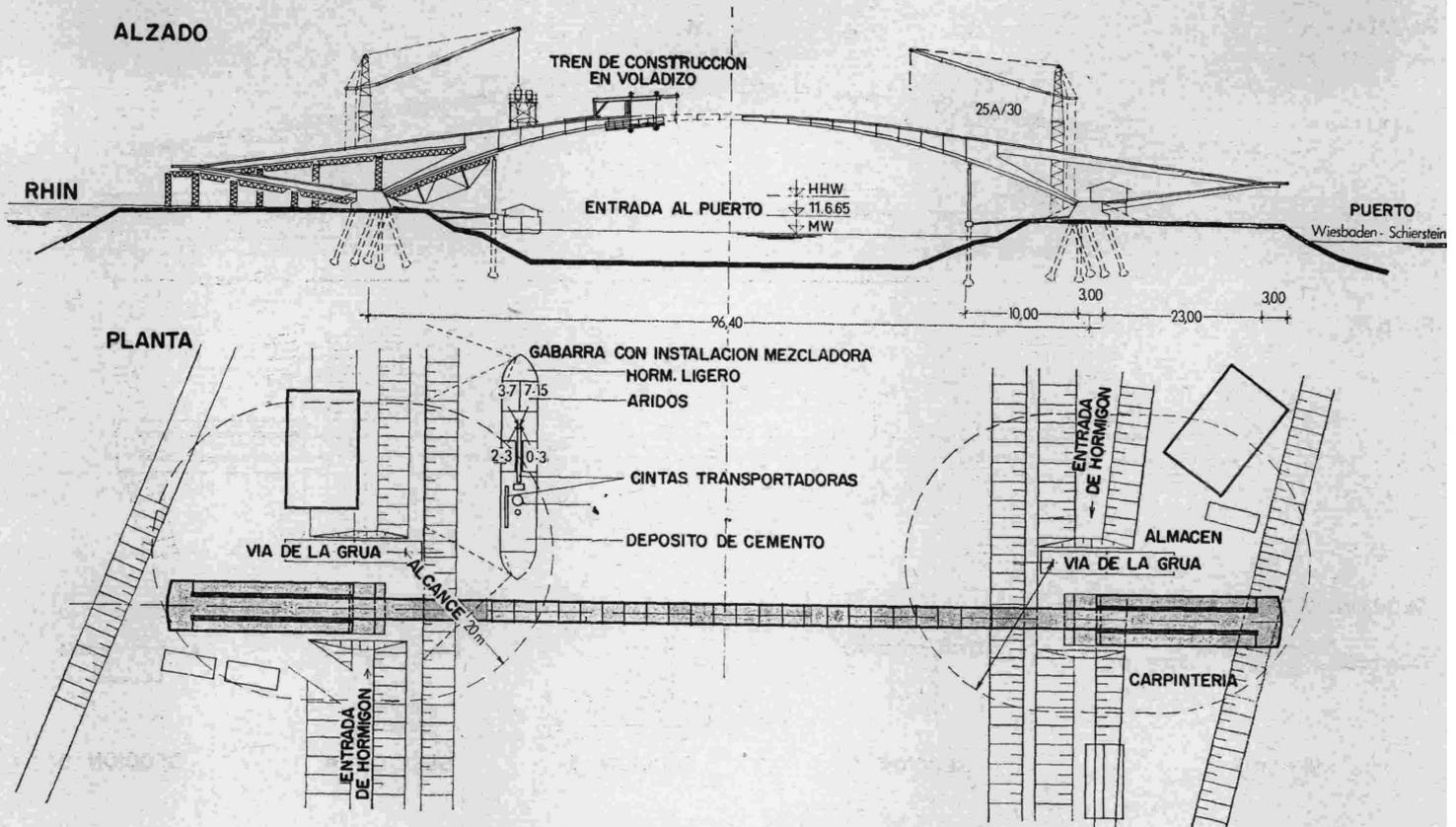
Proyecto

El problema a resolver está representado en el plano de situación. El puente comunica dos lenguas de tierra, entre la corriente del Rin y la dársena del puerto, y cruza así en ángulo recto la entrada del puerto con sus 80 m de anchura. Por otra parte, era preciso dejar un paso suficientemente ancho y alto que permitiera la navegación.

Debido al origen especial de la obra y al lugar elegido, se pensó realizar algo notable, desde el doble punto de vista técnico y estético, para lo que se contó con la colaboración, como arquitecto, del Ing.-Dr. E. h. Gerd Lohmer, de Colonia.

La entrada del puerto es salvada por un arco rebajado, cuyos puntos de arranque se hallan en la coronación de los diques contra las avenidas, sobre los cuales puede el peatón llegar al puente, incluso en épocas de crecidas. Por las dos rampas se accede hasta un descansillo intermedio, y desde allí, por la calzada de 3 m de anchura, hasta el punto más alto del puente a unos 16 m sobre el nivel del agua. La flecha del arco es de 15 m, con lo que la relación arco-flecha resulta de $96,40 : 12 = 8$.





La peculiaridad del puente, desde el punto de vista estático, consiste menos en la construcción del arco que en la de los sistemas de rampas, ya que los descansillos no van apoyados. Así, las rampas cuelgan como triángulos de celosía, a modo de contrapesos del arco, siendo la rampa superior un elemento sometido a tracción y las parejas de rampas inferiores de compresión. Como quiera que estas últimas retornan nuevamente a los cimientos del puente, los descargan considerablemente del empuje horizontal del arco y simplifican, así, la cimentación, que, en caso contrario, hubiera sido muy costosa debido a las malas condiciones del suelo. La forma arquitectónica de las rampas, lo mismo que la del arco, está coordinada con las necesidades estáticas. Así, la rampa superior, que tiene una longitud, entre arco y descansillo, de 36 m, está casi totalmente empotrada en el arco y apoyada en el descansillo intermedio girando con relativa libertad. Por ello, la viga disminuye hacia el descansillo intermedio, desde 1,80 m hasta 0,60 metros.

Las fuerzas transversales del viento se desvían en la zona del arco hacia los contrafuertes por un atado inferior uniforme de 0,50 m, que se ensancha a 1,50 m en el centro del puente y a 3 m en el arranque.

El puente se halla pretensado con barras Dywidag, y de su trazado puede deducirse claramente la forma de trabajo de la estructura. La totalidad de la zona a la izquierda del apoyo auxiliar se hormigonó por dovelas (en la zona inferior del arco) sobre cimbra, con hormigón normal B 450 o B 600. A la derecha del apoyo auxiliar empezó el avance en voladizo, con hormigón ligero LB 300. Cada semana crecía el puente en dos dovelas de voladizo de 3,05 m de longitud. Después de repetirse el mismo juego desde el otro lado, pudo colocarse la dovela de clave para rigidizar a flexión las dos ménsulas; el carro de avance, de 14 t, había sido desmontado con anterioridad.

Puntos de vista estáticos y constructivos

Se tendía a una construcción sin andamiajes, porque el tráfico de barcos había que mantenerlo libre de obstáculos. La forma del puente se amoldaba especialmente al sistema de voladizos sucesivos, pues los esfuerzos cortantes que producía el carro de avance en la ménsula de canto variable eran menores que los que se producirían en la situación definitiva del arco.

Fue, además, posible mantener los momentos de flexión del pretensado iguales y opuestos a los momentos de flexión de las cargas exteriores. Como quiera que el arco en su situación definitiva se encuentra sometido predominantemente a esfuerzo axial bajo carga permanente, es fácilmente comprensible que después de cerrar la clave no se produjeran grandes momentos, a pesar de la superposición de esfuerzos de dos sistemas estáticos totalmente diferentes. El efecto de arco se produjo en el momento de retirar los dos apoyos auxiliares.

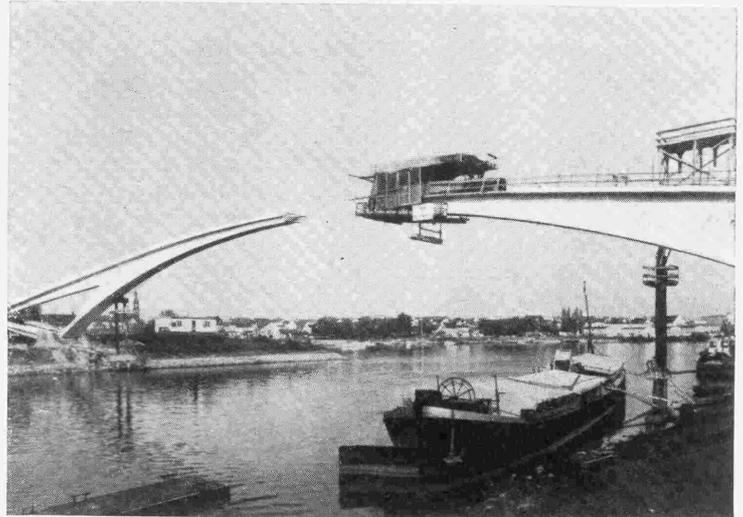
El avance en voladizo, con hormigón ligero, era técnicamente lógico, ya que su peso es, en números redondos, sólo $\frac{2}{3}$ del hormigón normal. Debe añadirse, asimismo, que de emplearse hormigón normal se hubiera necesitado, aproximadamente, un 20 % más de acero pretensado y, además, en la situación definitiva se hubieran obtenido empujes horizontales notablemente mayores. Como consecuencia, la cimentación hubiera sido más costosa.

En lo que se refiere al avance de la obra, ha sido total el éxito del hormigón ligero, ya que con el LB 300 —cuyas resistencias en probeta cúbica, a los 28 días, fueron, por término medio, de unos 400 kp/cm^2 — se comprobaron, 30-40 horas después del hormigonado, resistencias cúbicas de más de 240 kp/cm^2 . Por lo tanto, cada semana se pudieron hormigonar dos dovelas en voladizo.

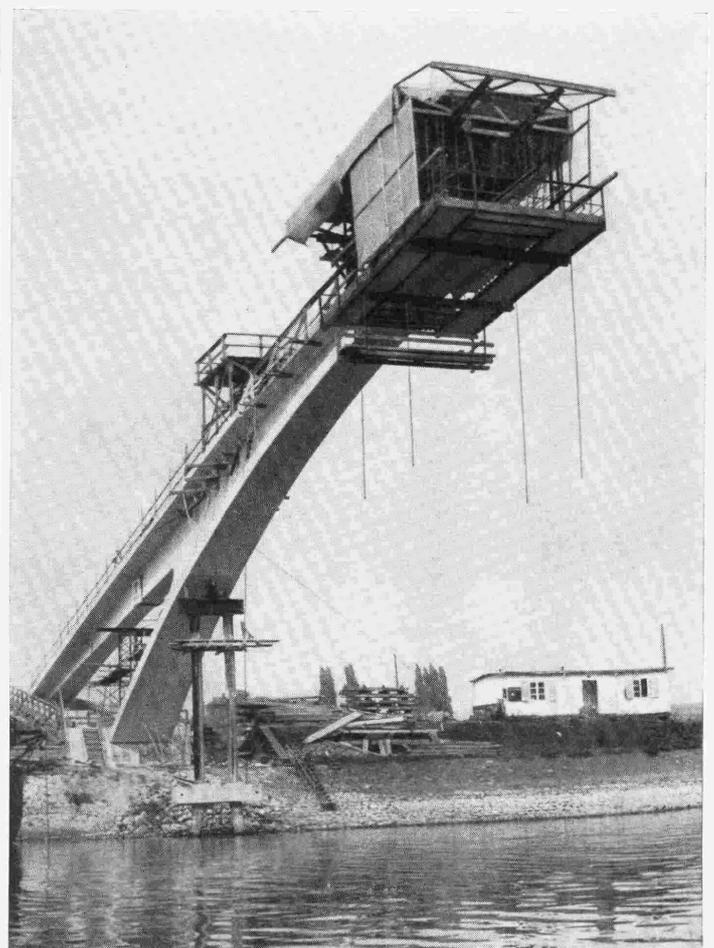
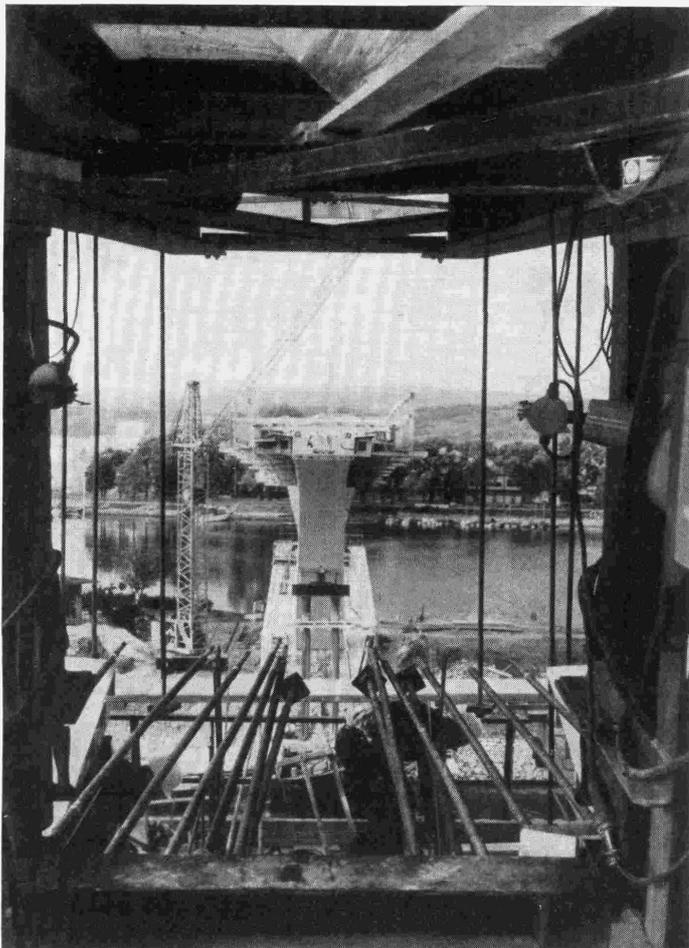
El aumento de resistencia del hormigón ligero joven correspondió al de un hormigón normal B 450. El empleo de hormigón ligero para estructuras de hormigón pretensado, presupone que el anclaje de los cables de pretensado se dimensiona de acuerdo con la limitada resistencia a la rotura de los áridos ligeros.

Los correspondientes ensayos realizados con los dos tipos de anclaje del sistema Dywidag han demostrado que el de placas ofrece seguridad plena.

Las pérdidas de pretensado calculadas como consecuencia de la fluencia y retracción alcanzan en el puente Dyckerhoff un máximo del 20 %. Al fijarse las constantes de cálculo, se partió del supuesto de que las variaciones de longitud debidas a retracción son en hormigones ligeros un 20 % mayores que en hormigones normales. Después de un año de ensayos efectuados por la fábrica Dyckerhoff resultó que ambos hormigones se comportan prácticamente igual en lo que se refiere a retracción y fluencia. Se comprende este resultado si se tiene en cuenta el contenido de cemento relativamente bajo —de 350 kg por cada m^3



Fotos: FÖRTNER y WERKFOTO



en hormigón ligero—, ya que los acortamientos plásticos de los hormigones aumentan, en general, al aumentar el contenido del cemento.

El módulo de elasticidad del hormigón ligero LB 300 es uno (además del peso y del coeficiente de conductividad térmica) de los datos técnicos que más le diferencian de un hormigón normal. Para el LB 300 se obtuvo un módulo $E = 170.000 \text{ kp/cm}^2$ frente a $E = 300.000 \text{ kp/cm}^2$ para hormigón normal B 300. Las deformaciones de las obras de hormigón ligero son, por lo tanto, mayores. Antes de cerrar la clave, un solo hombre podía hacer oscilar las vigas en voladizo tanto en dirección vertical como en horizontal. Después de montada la última dovela de la clave no son, en cambio, posibles esta clase de oscilaciones, ya que la rigidez del arco no permite grandes deformaciones.

En los puntos de unión entre hormigón normal y hormigón ligero no fueron necesarias medidas constructivas especiales. En la zona de las rampas inferiores se fabricó in situ, con cemento blanco, un hormigón B 600, cuya resistencia, a los 28 días, fue, por término medio, de 672 kp/cm^2 . La retracción y fluencia corresponden a los de los cementos portland normales. Por último, el exceso de costos del cemento blanco ascendió, en el puente Dyckerhoff, a un 3 % del importe de la construcción.

Hormigón ligero en obra

En las 21 dovelas de la zona central, de 64,20 m de longitud, se colocaron tan sólo 180 m^3 de hormigón ligero LB 300, lo que representa una pequeña cantidad por dovela, que alcanzó en la clave el mínimo con 4 m^3 . La organización de la obra tuvo que adaptarse, por lo tanto, a estas modalidades especiales. Una instalación flotante sirvió para fabricar el hormigón. Sobre una gabarra se hallaban colocados los áridos —clasificados granulométricamente—, el cemento blanco «Dyckerhoff-Weiss» y una hormigonera. El hormigón ligero LB 300, así producido, tenía 350 kg/m^3 de cemento blanco y 1.060 kg/m^3 de áridos, de los cuales un 23 % en volumen poseía una granulometría de 0/3 milímetros.

Arena y cemento se dosificaron en peso y el árido ligero por volumen. El hormigón fresco se izó a su lugar en cubos con auxilio de una grúa-torre giratoria montada en la orilla; aquí era cargado con carretillas y llevado a mano al lugar de vertido.

El hormigón ligero en fresco era menos trabajable y algo más difícil su movimiento en canaletas o dentro del encofrado. Y aunque, debido a su menor peso propio, no reacciona tan bien a la vibración, la energía de vibración no es notablemente mayor que con hormigón normal.

TABLA 1. Datos tecnológicos del hormigón para LB 300 (hormigón ligero con cemento blanco Dyckerhoff)

Arco por voladizos sucesivos. Hormigón ligero LB 300			
Cemento Dyckerhoff-Weiss (blanco)	350 kg/m ³		
Relación agua/cemento	0,57		
Consistencia	seca		
Aridos, granulometría	arena fina	0- 0,2	8,5 % (*)
	arena del Main	0- 3	31,0 %
	árido ligero	2- 3	19,5 %
	árido ligero	3- 7	18,0 %
	árido ligero	7-15	23,0 %
Hormigón fresco	1,620 t/m ³		
Retardador	0,25 %		
Oxido de titanio	2 %		
Medida de concentración	1,17		
Resistencia media a compresión a las 30 horas.	240 kp/cm ²		
Resistencia media a compresión a los 3 días	292 kp/cm ²		
Resistencia media a compresión a los 7 días	321 kp/cm ²		
Resistencia media a compresión a los 28 días	390 kp/cm ²		
Desviación típica a los 28 días	27 kp/cm ²		
Resistencia característica al 5 %	345 kp/cm ²		
Coefficiente de variación	V = 6,9 %		
Densidad del hormigón a los 28 días	1,608 t/m ³		
Prueba con el esclerómetro Schmidt	343 kp/cm ²		
Probetas testigo extraídas	372 kp/cm ²		
Resistencia a flexotracción a los 28 días	56 kp/cm ²		
Resistencia a tracción directa a los 28 días	17,4 kp/cm ²		

(*) Porcentajes en peso.

Consideración final

El hormigón ligero de alta resistencia ofrece hoy en día al constructor de puentes un material más de gran calidad. En el puente Dyckerhoff se han realizado, con hormigón normal, las rampas y zonas inferiores del arco, y la parte central del arco, con hormigón ligero; una combinación que puede considerarse perfectamente lograda. Con casi 100 m de luz entre apoyos y una zona de hormigón ligero de 64 m, fue —en el momento de su construcción— probablemente la pasarela de hormigón ligero pretensado mayor del mundo.

Passarelle du port de Wiesbaden-Schierstein - Allemagne

Dyckerhoff & Widmann KG

Cet élégant ouvrage d'art a été réalisé à l'occasion du centenaire de la cimenterie Dyckerhoff. Son exécution a été réalisée par encorbellements successifs à base de béton précontraint et de bétons légers blancs, en leur majeure partie. Il est intéressant de signaler l'utilisation des rampes d'accès comme contrepoids de l'arc, ce qui a pour conséquence un résultat statique original qui allège considérablement les fondations, lesquelles, étant donné les mauvaises conditions du terrain, auraient été extrêmement coûteuses.

Footbridge at the Wiesbaden-Schierstein Harbour, Germany

Dyckerhoff & Widmann KG

This distinguished engineering design was constructed to commemorate the centenary of the Dyckerhoff cement plant. It was built by successive overhangs, using prestressed light weight concrete, mostly of white colour. The use of counterweight approach ramps is an interesting feature, providing an original static arrangement and reducing the weight of the foundation, which in this case, because of the nature of the soil, was an expensive item.

Stegbrücke im Hafen von Wiesbaden-Schierstein - Deutschland

Dyckerhoff & Widmann KG

Dieses elegante Bauwerk wurde zur Hundertjahrfeier der Zementfabrik Dyckerhoff errichtet nach dem System aufeinanderfolgender Auskragungen auf der Basis von Spannbeton, wobei hauptsächlich weisser Leichtbeton zum Einsatz kam. Sehr interessant ist die Lösung der Zugangsrampen als Gegengewicht zum Bogen; dies führt zu einem originellen statischen Resultat, da so die Belastung der Fundamente erheblich herabgesetzt wird, die andernfalls aufgrund der schlechten Bodenverhältnisse überaus kostspielig geworden wären.