

## LOS PUENTES DE FABRICA DURANTE EL AÑO 1968(\*)

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO  
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

*Continuando la serie de la evolución de los puentes de fábrica año por año, se plantea en éste la relación entre los diversos tipos de puentes, especialmente pretensados y en soluciones de continuidad estructural teniendo en cuenta los procesos constructivos.*

Hasta hace muy pocos años, cuando se contemplaban los puentes de fábrica tenía uno ante sí un panorama bipartito: puentes de tramo recto y puentes de arcos, pero actualmente se han desarrollado ya lo suficientemente los puentes colgados, que es preciso añadir un tercer apartado para tener una visión completa del problema.

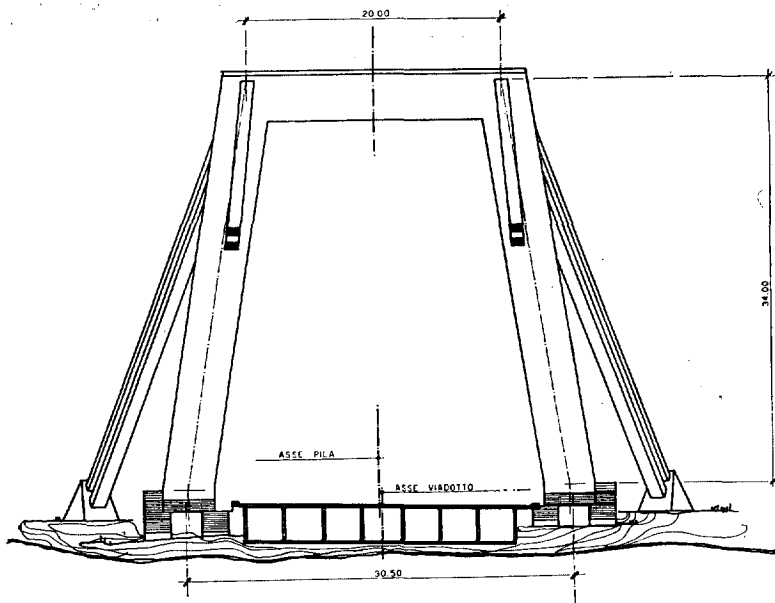
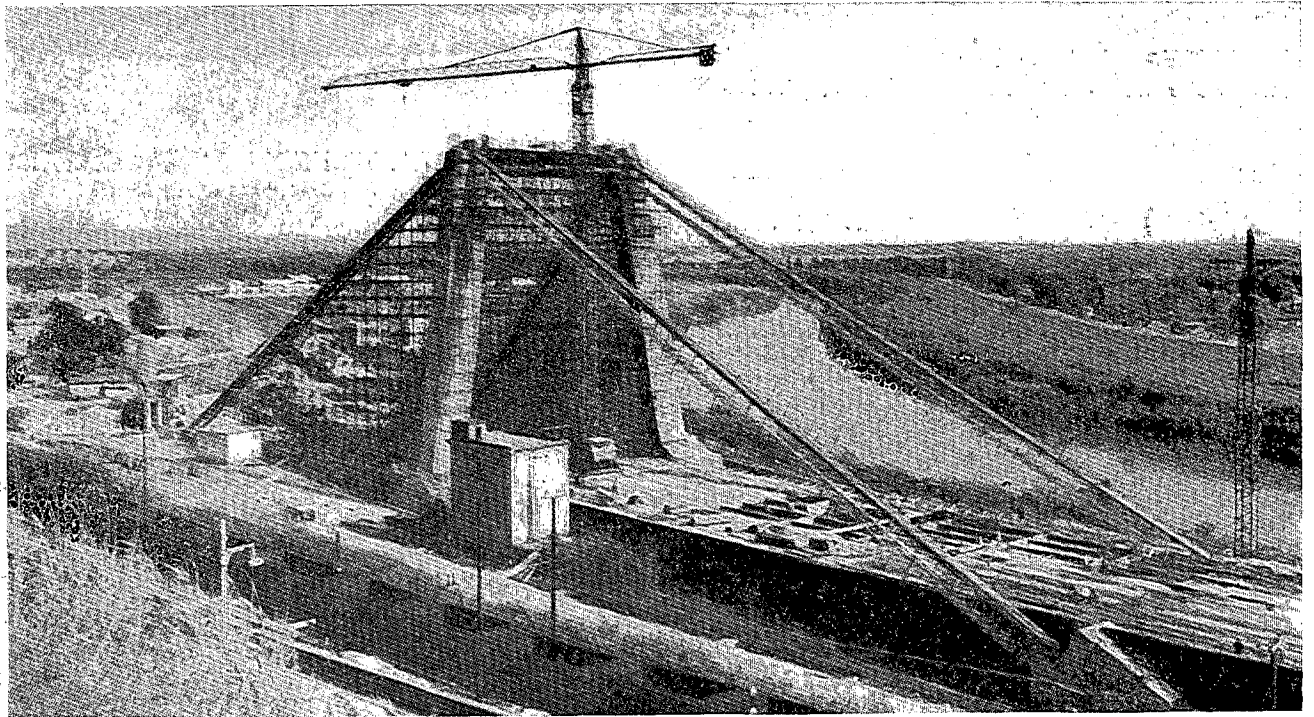
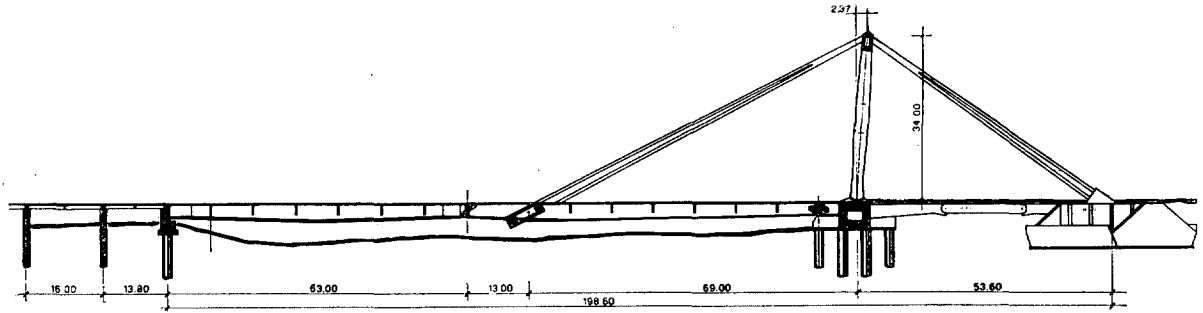
*Puentes colgados.*—Fue en el puente de Maracaibo donde primero proyectó Morandi una luz de 400 m. para el concurso internacional, que luego al construir se contrajo a 216 m. Volvió Morandi sobre el tema con el puente de La Polcevera en Milán, sin rebasar la luz lograda, mejorando únicamente el proceso constructivo al avanzar por voladizos sucesivos en las ménsulas que completan los tramos simétricos directamente apoyados sobre las pilas en una fase inicial, pero que definitivamente quedan atiranta-

dos a las torres a través de los cables externos que ahora son rectos y pretensados. Es curioso que el avance de los voladizos precisara durante construcción de otros cables complementarios provisionales, en las sucesivas secciones que se hormigonaban, los cuales se articulaban también en el plano central de la torre, pero con mucha menor flecha, por lo que su capacidad era inferior a la de los definitivos.

La tercera realización de Morandi es el viaducto del "Ansa de La Magliana" que se terminó el pasado año, para resolver un paso en la ladera junto al Tiber en la autopista Roma-Fiumicino, muy difícil por la poca consistencia del terreno incapaz de aguantar cargas superficiales en un trayecto de 250 m. El paso era obligado por condiciones viales y por la presencia del ferrocarril, también paralelo al río. El terreno es incapaz de sostener ni siquiera el mínimo terraplén de la plataforma de la autopista. Esto ha exigido la construcción de un tramo de 145 m. de luz teórica cimentando mediante pilotes de 1,20 m. de diámetro, sobre una pila central que

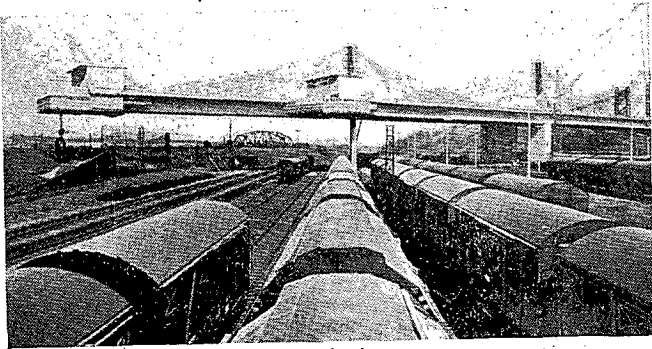
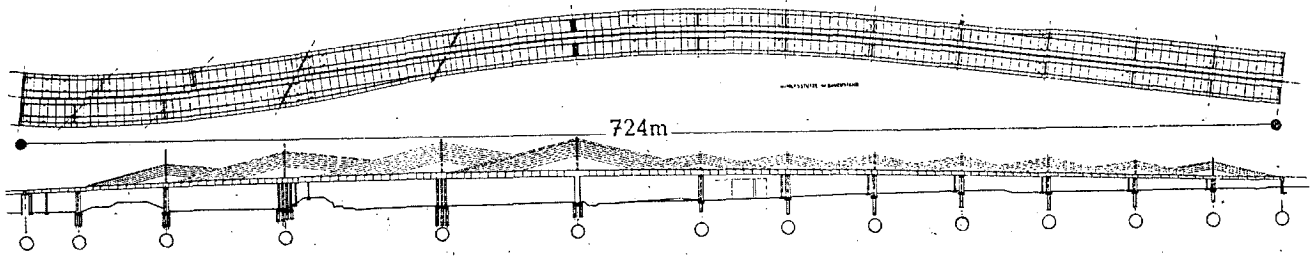
(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de marzo de 1970.

# PUENTES COLGADOS

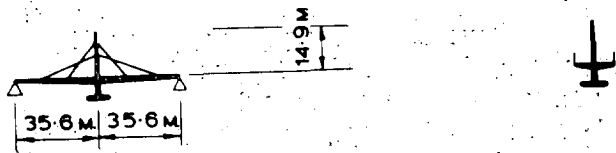


VIADUCTO DEL ANSA DE LA MAGLIANA  
MORANDI  
Luces principales: 145 + 53,60

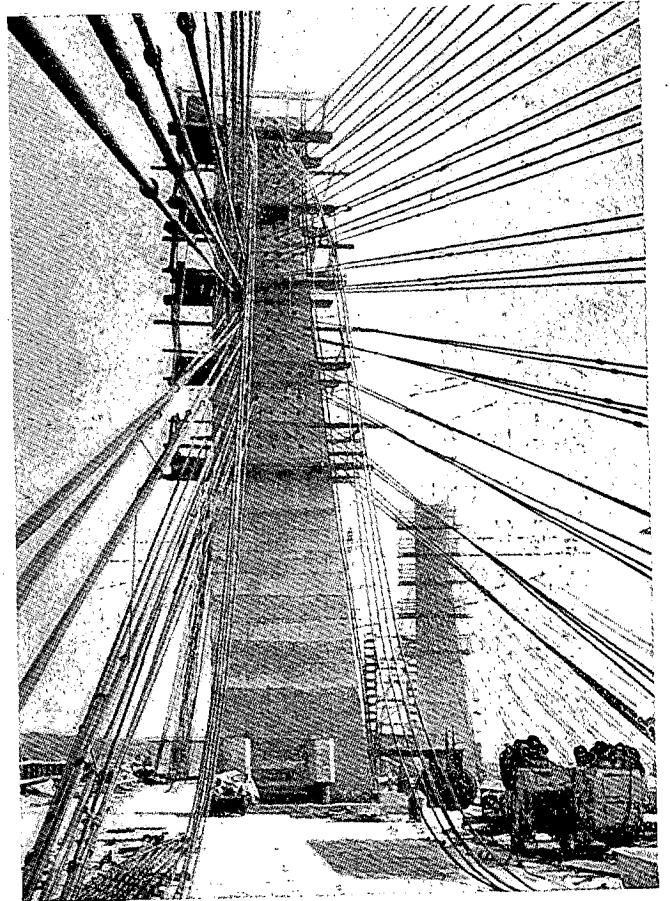
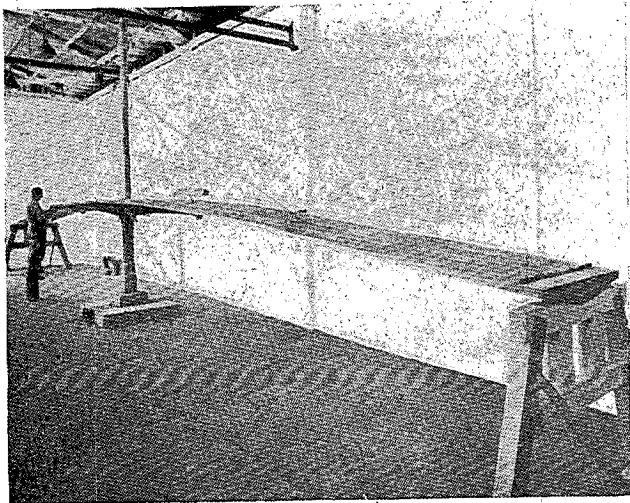
# VOLADIZOS SUCESIVOS MEDIANTE COLGADO DEL TABLERO



Construcción por voladizos sucesivos de un viaducto de la sección: Los E de una autopista en Colonia: DYWIDAG

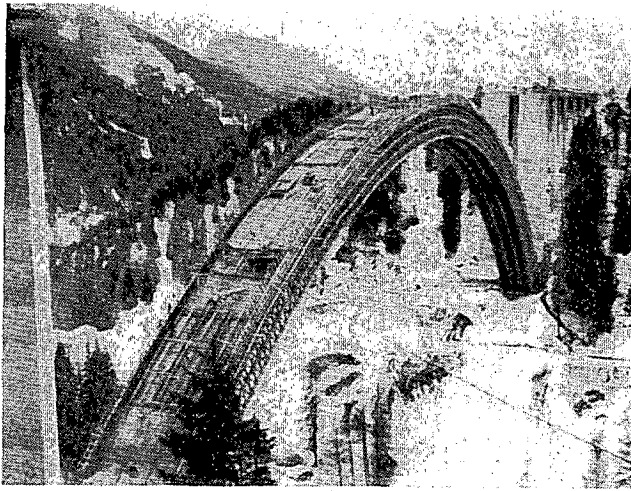


Modelo reducido de la pasarela Mount St en Perth W. A.  
Luces:  $2 \times 35,60$  m.

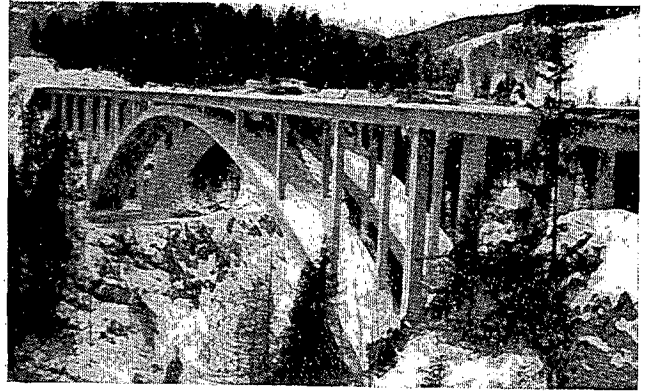


# PUENTES DE ARCOS

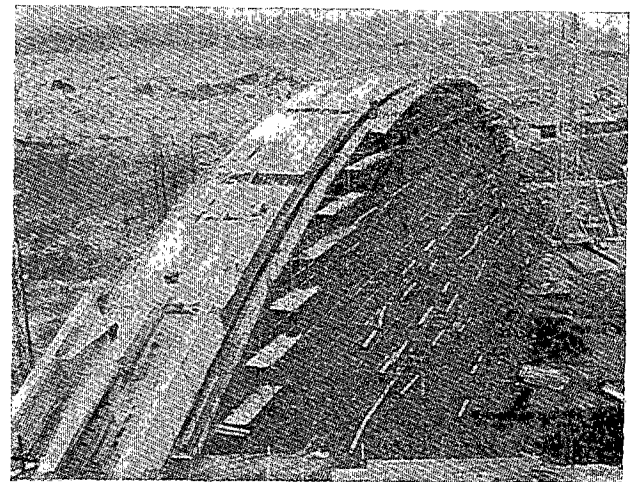
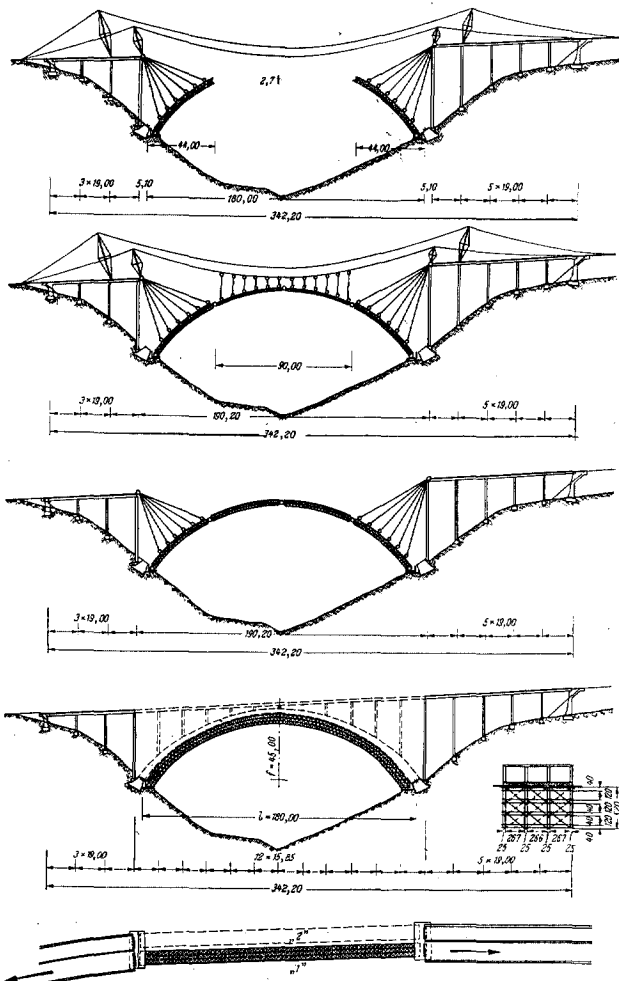
AUTOPISTA DEL BRENERO (AUSTRIA)



Nösslach 1. Luz: 180. Rebajamiento 1/4



Nösslach 2. Luz: 110 m. Rebajamiento 1/4



Puente en la autopista inglesa: M - 62. Luz: 183 m.

Construcción del viaducto Nösslach 1.



soporta el máximo de carga, otra más simple a la distancia indicada y un estribo de contrapeso a 53,60 m. por el lado externo, que no necesita pilotaje. El tramo principal se subdivide en dos, uno de 82 m. colgado a 13 m. de la extremidad de una torre en pórtico de 34 m. de altura, mediante cables laterales anclados directamente en el estribo contrapesado. Una serie de articulaciones en dintel dan isostatismo al conjunto y así el tramo principal se articula al pie de la torre con el lateral y recibe por la otra extremidad un tramo simplemente apoyado sobre él y sobre el estribo final. La obra se complementa por uno de los lados mediante una palizada de tramos simples sobre pilotes con luces de 13,80.

El sistema de cables rectos en lugar de los cables curvos de los puentes colgados clásicos metálicos, se ha introducido también en éstos, y además ha permitido avanzar hasta 245 metros la luz máxima de pretensado en la construcción del puente sobre el río Paraná, en Corrientes (R. Argentina), con proyecto de Courbon y torres de tipo Morandi.

El empleo de cables rectos para colgar el dintel durante construcción se emplea muy frecuentemente por Dywidag como complemento al sistema de construcción por voladizos sucesivos, especialmente cuando se avanza en vanos completos desde una pila donde se monta la torre provisional (que puede ser de elementos prefabricados reutilizable), anclando sobre el tramo anterior, ya construido, los cables simétricos de los de avance. Estos cables son en realidad barras de pretensado Dywidag empalmadas mediante sus manguitos normales y que al final se recuperan para otros usos provisionales o definitivos. La regulación de tensión de estos cables se lleva perfectamente a través de los anclajes actuando con los mismos gatos de pretensar. En lámina adjunta damos el sistema de ejecución de uno de estos viaductos, el trozo E de la autopista periférica de Colonia.

En esta misma lámina damos una foto del modelo reducido para estudio de una pasarela en Austria.

En los puentes colgados pretensados los cables son pretensados, pues la envoltura de protección es activa, ya que se precomprime para que colabore con el acero en resistir las tracciones que produce la sobrecarga.

Es preciso recordar que en el Concurso para

el puente de Tancarville, Dyckerhof & Widman presentó una solución donde el cable clásico con su forma curva era pretensado, teniendo una sección transversal el hormigón complementario con perfil aerodinámico para reducir al mínimo la resistencia al viento. También recordaremos que existe un verdadero puente colgante, el de la barra Maldonado en Uruguay, para carretera normal, con su perfil longitudinal en curva y contracurva, bastante sorprendentes para el tráfico; solución que es normal en pasarelas ejecutadas con elementos vegetales en las zonas de grandes selvas, y con cables metálicos generalmente en pasarelas de obras.

Por último recordaremos la solución colgante del "spanband" de Dywidag que se ha utilizado ya en varios proyectos de concurso, pero que no ha llegado a realizarse.

*Puentes de arcos.*—Así como el campo de los puentes colgados de fábrica está en sus comienzos y con gran porvenir en las máximas luces, el de los puentes de arcos detenta actualmente estos máximos, pero aunque no tiene cerrada su expansión, ha llegado a unas soluciones clásicas, que el hormigón pretensado ha alterado muy poco, y como ya vimos en un artículo anterior, de modo indirecto.

La luz máxima construida, los 1.000' del puente de Parramata no está amenazada por ningún proyecto declarado, aunque el intervalo de 200 a 300 m. se está poblando en estos últimos años, habiendo ya más de seis en el de 100 a 200.

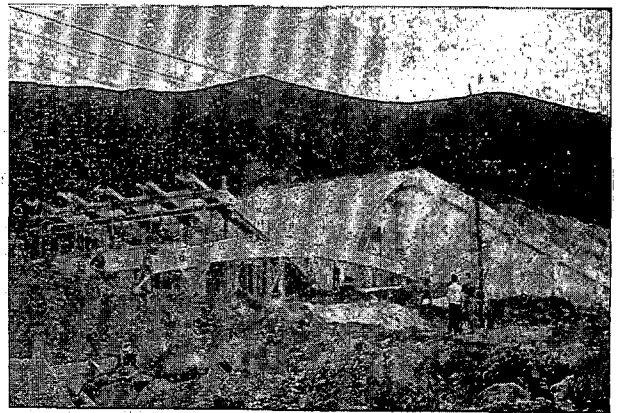
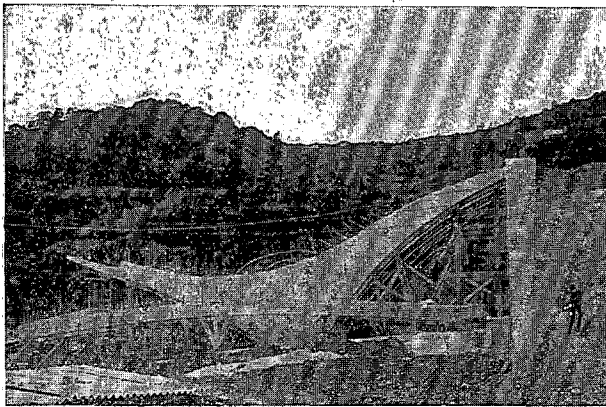
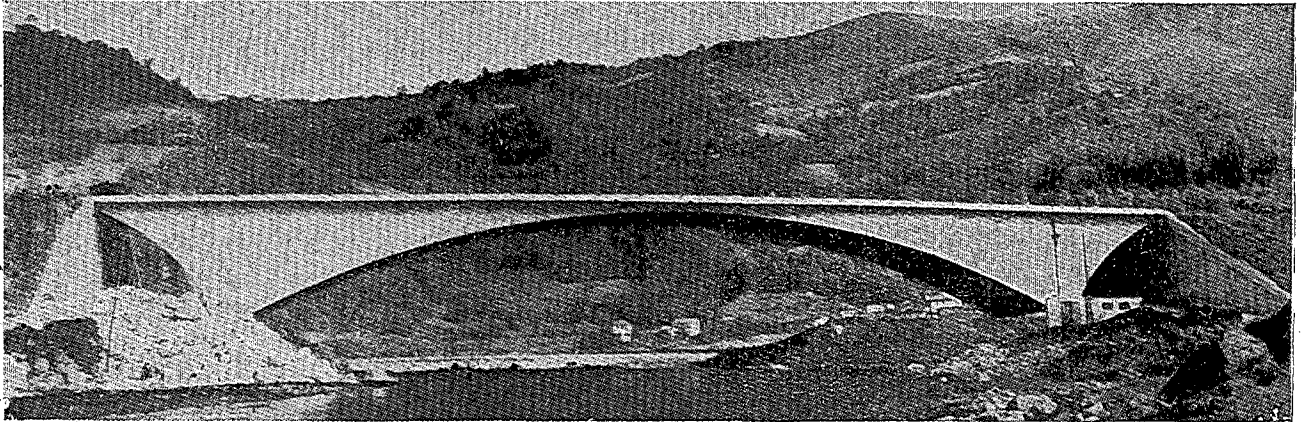
En la autopista del Brenero (Austria) se han construido varios puentes de arco de hormigón armado con luces notables: el de Schlierbach con 67,00 m., el de Sonnenbürg con 97,00 m., el de Bergisel con 122,50 m., el de Nösslach con 110,00 y el segundo Nösslach con 180 m. En todos ellos se ha adoptado la solución de dos anillos independientes de sección muy apaisada, rectangular tricelular con tabiques de 0,25 y 0,30 m. a 100 m. Los tableros que se independizan de los arcos en las zonas de clave llevan cuatro vigas longitudinales y el sistema de enlace se constituye por pilares rectangulares en hilera coincidiendo con los planos de vigas. Los rebajamientos varían desde 1 : 4 a 1 : 4,66 con espesores en clave y arranques de 1,20-1,92; 1,25-2,13; 1,50-2,25; 1,50-3,00 y 2,50-4,00. Las tensiones admisibles adoptadas fueron de 40 a

# PUENTE DE MIERES SOBRE EL CAUDAL

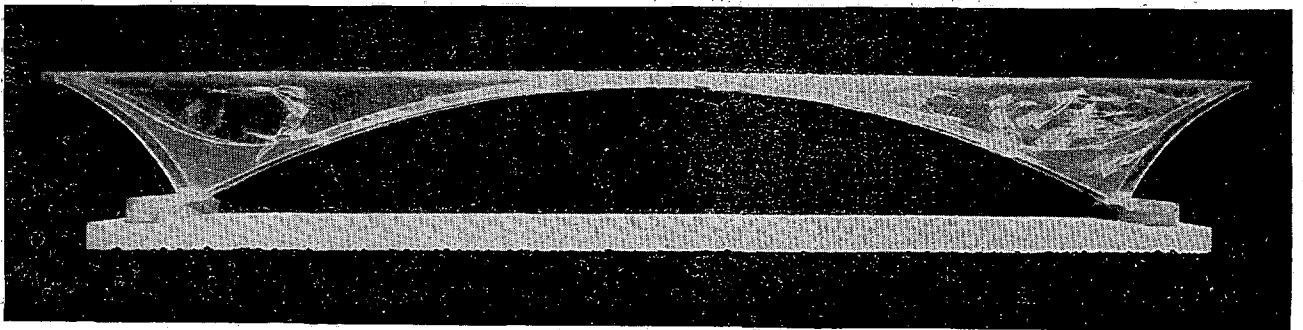
FERNANDEZ CASADO, S. A.

DRAGADOS

Luz: 75,00 m.



Vista de los salmeres y anillos prefabricados



Modelo reducido de plexiglás.

58 Kg./cm.<sup>2</sup> para carga permanente, llegando hasta 136 en bordes para las hipótesis más desfavorables, y se admitieron coeficientes de seguridad al pandeo desde 10 a 15 en comportamiento elástico y desde 4 a 6 en comportamiento plástico. El hormigón utilizado fue normalmente B300 y especialmente B400 en los dos arcos de mayor luz.

La construcción de los arcos se llevó a cabo mediante cimbras metálicas tipo Cruciani en arco con la misma luz total; se montaron por roscas, colgando secciones parciales de cada una desde los tramos de acceso y desde un blondín de toda la longitud del puente, que sirvió también para el transporte de los materiales. Este primer montaje permitió llegar por triple recrecimiento hasta construir la cimbra total que sirvió para ejecutar, sucesivamente, los dos anillos ripándola sobre la cimentación común a ambos.

Otro puente en arco de gran luz es el que se construye en la autopista M-62 de Lancashire a Yorkshire con 183 m. de luz, en el cual la bóveda única de cajón tricelular se construye sobre andamio tubular desde el fondo del valle. También el de Cape Town en Port Elisabeth con 195 m. de luz en un barranco de 125 m. de profundidad.

Un tipo estructural interesante es el de los arcos tímpanos cuando el rebajamiento disponible es pequeño y se tiene buen terreno de cimentación. Nosotros lo hemos utilizado en dos puentes que tienen bastante homogeneidad: el del aliviadero del Cubillas, construido en 1954, con 50 m. de luz y el del río Caudal, cerca de Mieres, con 70 m., terminado de construir el pasado año para el nuevo acceso a Oviedo desde este último punto. El procedimiento constructivo ha sido el mismo en ambos puentes: prefabricación de unos anillos que refuerzan el borde inferior de la estructura, para montarlos desde el centro del río como anillos de arcos de tres articulaciones, reposando salmeres contruidos sobre las mismas cimentaciones, y continuar construyendo el resto de los tímpanos y el tablero total sin necesidad de apoyarse en el lecho del río.

Muy próximos en cuanto a funcionamiento están los pórticos trapeciales, es decir, la solución con silueta en T. No son funiculares de las cargas pero se aproximan más que el pórtico

rectangular, tienen las ventajas constructivas de realizar elementos rectos y las funcionales de acomodarse mejor a los gálibos rectangulares en los pasos de vías de comunicación. No es solución privativa del hormigón pretensado, nosotros lo hemos empleado en el puente de la Chantrea sobre el Arga, en Pamplona, con luz de 40 m. en hormigón armado, pero la mayoría de las aplicaciones pertenecen a dicha técnica. También se ha utilizado en aplicaciones análogas de pasos metálicos.

Tenemos dos aplicaciones interesantes en el puente de Susqueda, sobre el Ter, con luz de 48 m., proyecto de A. Rebollo, y en el de Mariano de Cavia, en la salida de Madrid de la autopista a Valencia, con tres vanos de 21,25 + 47,20 + 21,25, proyecto del ingeniero J. A. Puyal:

Otra solución morfológicamente parecida, y esta sí, privativa del hormigón pretensado, es la del dintel sustentado sobre células triangulares intermedias o extremas. Nosotros hemos empleado esta última sistemáticamente en los pasos de las Rozas-Villalba.

*Tramos rectos.*—Al tratar de los tramos rectos en el artículo anterior, establecimos la situación de competencia entre el hormigón armado normal y el pretensado y seguimos en la misma idea: que a partir de 20 m., los puentes pretensados eliminan prácticamente a los de hormigón armado normal, cuya defensa está en ampliar la luz económica del tipo losa maciza o aligerada.

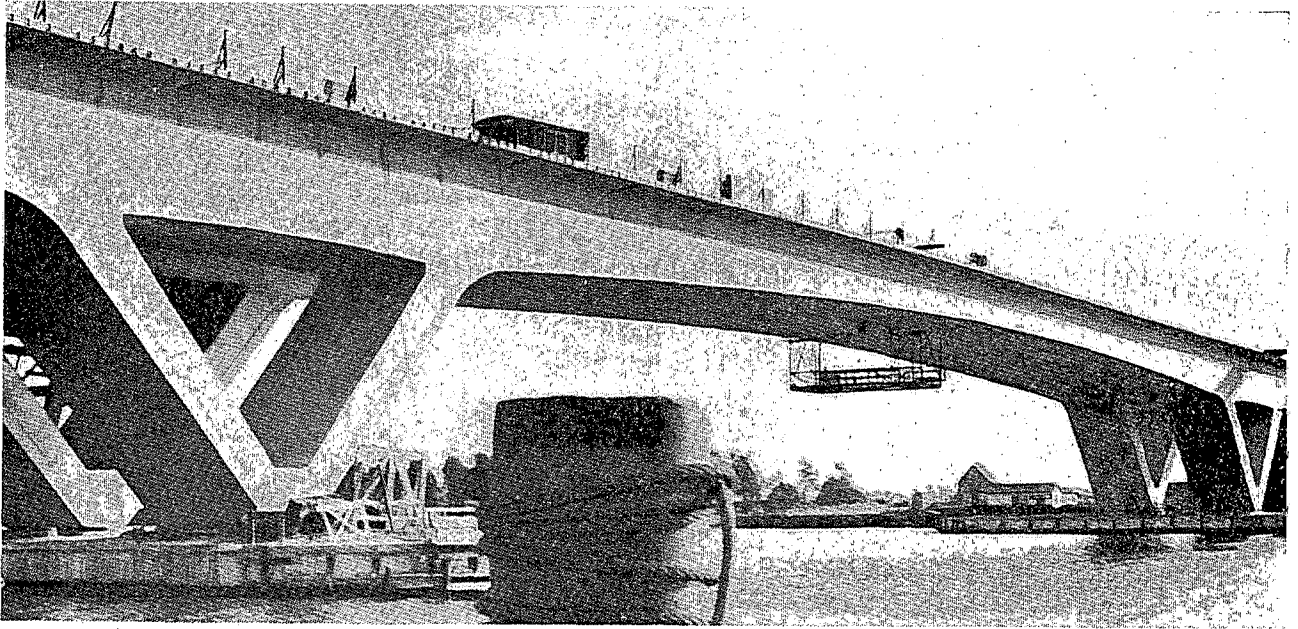
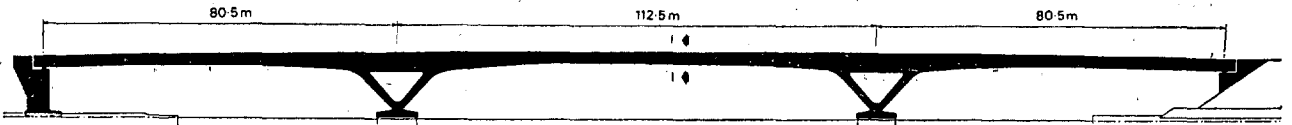
Dentro de los tramos de hormigón pretensado y siguiendo en esta visión de competencia de soluciones, tenemos en el primer escalón de luces, hasta los 60 m. aproximadamente, la de los tramos simples, es decir, apoyados con tramo igual al vano, y la de los continuos. Contra éstos se ha esgrimido el anatema del hiperestatismo, con el fantasma de los asientos de los apoyos, ya antiguo, y el nuevo del comportamiento anormal de las unidades activas hiperestáticas, problema puramente de cálculo, que fue tabú en los primeros años de las aplicaciones del pretensado.

El comportamiento de las juntas de articulación y de dilatación de los tramos, especialmente en las autopistas, al cabo de algunos años de servicio ha dado nuevas ventajas a los tramos continuos, donde en lugar de dos juntas por

# PUENTES PORTICOS

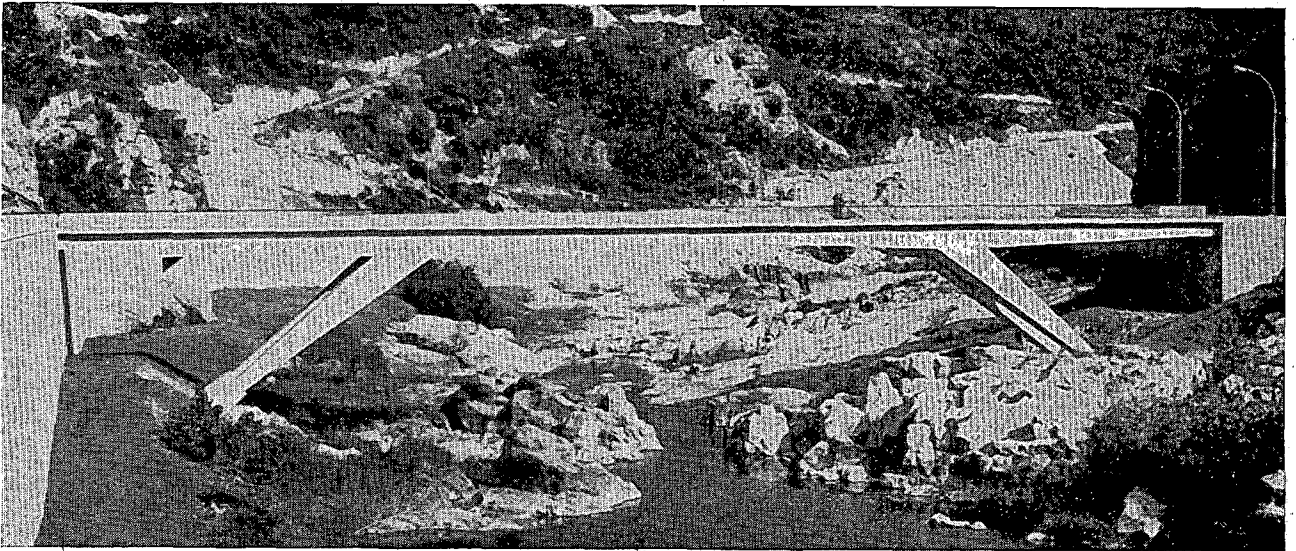
PUENTE BRIELSCHE MAAS (HOLANDA)

VAN DER VLUTGT & VAN DERNIET



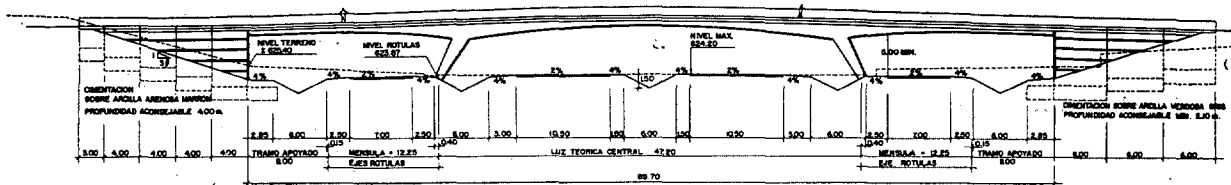
PUENTE DE SUSQUEDA

REBOLLO - DRAGADOS



PASO DE MORATALAZ

PUYAL - AGROMAN



pila, sólo tenemos dos juntas inicial y final en todo el tablero. Claro está, que el problema de las juntas ha quedado resuelto, desde que los ingenieros que proyectan y construyen puentes se han decidido a utilizar los dispositivos idóneos para ello, los cuales son costosos de origen y delicados de realizar, repercutiendo ambas cosas pero de un modo mínimo en la economía de la obra. Con respecto al problema de los asientos diferenciales, ha llegado a ser ya norma en todo proyecto de puentes partir de un informe geotécnico para el proyecto de la cimentación, reduciéndose la cuestión a que esta se realice como es debido, para que, salvo casos excepcionales, los asientos no afecten al comportamiento de la estructura, ni a la regularidad de la plataforma. Además, en todos los casos existen las soluciones continuas y al mismo tiempo isostáticas, que resuelven el problema estructural aunque no el de las juntas.

En la competencia de este primer escalón de luces, los procesos constructivos han venido en favor de las soluciones continuas, pues, la disculpa de los tramos simples es que se consideraban como los verdaderamente idóneos para la prefabricación, resultando ésta como el sistema de racionalización de la construcción por antonomasia. Pero aparte de que puede utilizarse la prefabricación en tramos continuos, como ya hemos expuesto en otros artículos de la serie, este sistema no es la panacea, y las mismas oportunidades que se le ofrecen cuando se parte de un proyecto normalizado se le ofrecen también a la construcción por vanos completos de cimbra y encofrados solidarios, que avanzan longitudinalmente, bien sobre ruedas cuando la rasante está próxima al terreno, o mediante auto-lanzamiento, apoyándose sobre las propias pilas cuando la rasante es elevada. Hay que tener en cuenta que mediante este proceso constructivo, del que nos hemos ocupado ampliamente en los dos artículos anteriores, se llega a un ritmo de construcción de diez días por tramo, desplazado generalmente al cuarto de la luz del vano, quedando además completamente terminado en dicho plazo.

Pasando de estas luces que pudiéramos decir medias, la competencia se establece también entre los sistemas de voladizos sucesivos, bien construyendo *in situ* por avances de carro, o bien, prefabricando dovelas que se montan sucesivamente.

Vamos a pasar revista a los puentes constructivos ordenándolos con arreglo al proceso constructivo utilizado.

*Construcción por voladizos sucesivos.*—Por este sistema constructivo, que corresponde a las luces máximas, se está construyendo en Grecia el puente de Tatarna, que será segundo en tramos rectos por su luz de 196 m., encuadrada entre una de 97 y otra de 150,50 m., sustentadas en dos pilas dobles de 30 m. de altura y dos estribos. Tiene una longitud total de 470 m. y latitud de 9,4 m. con sección transversal en cajón de altura variable entre 3,4 y 10,5 m. Los pilares son solidarios del dintel y hay una articulación deslizante en el centro del tramo principal. Está en un estrechamiento del embalse producido en el río Acheloos por la presa de Kremasta. El proyecto es del ingeniero A. Ikonomou y se construye por el sistema de avance con carro tipo Dywidag y pretensado de la misma firma.

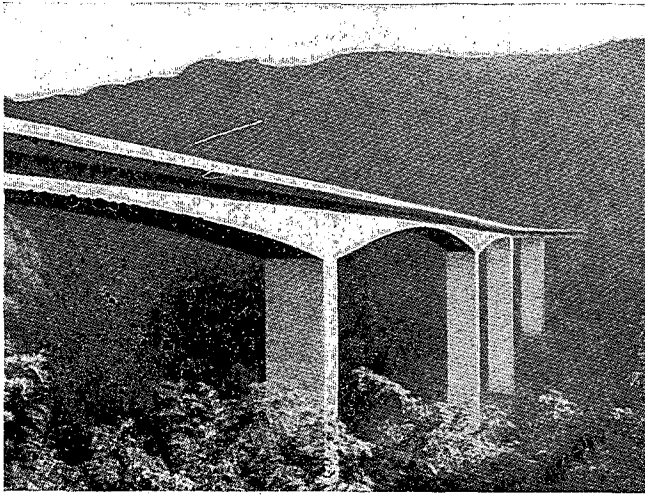
Los rusos han adoptado la solución de dovelas prefabricadas habiendo llegado a las luces máximas en el puente de Saratov sobre el río Volga con 106 + 166 + 106 metros. Teniendo hasta una veintena de puentes importantes en ríos como el Volga, Dnieper, Oka, Moscowa y Don. Los tipos estructurales son: elementos en T enlazados por articulaciones deslizantes, o bien intercalando entre ellos tramos simples, y por otro lado dinteles continuos con juntas o tramos intermedios y articulados con las pilas. Así tenemos soluciones casi normalizadas con luces entre 80 y 150, llegándose desde una a tres luces principales con vanos extremos de contrapeso. Tienen sección cajón con altura variable correspondiendo sobre pilas una proporción relativa al voladizo total entre 1/12 y 1/20. La sección con anchura de 17 a 42 m. se organiza en cajones rectangulares que determinan las dovelas cuyo peso ha variado desde 15 a 180 Tn. aunque el margen normal es de 35 a 65 Tn. Se emplea la junta seca con pintura de epóxido, manejándose las dovelas mediante carros eléctricos sobre el voladizo con potencia de 35 ó 65 Tn.

Uno de los puentes más importantes en construcción actual en Inglaterra es el *puente de Kingston* sobre el río Aide, en el cinturón de Glasgow, con una latitud de 2 x 20,70 (cinco carriles en cada dirección) y longitud de 268,20 m.



# PUNTES CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

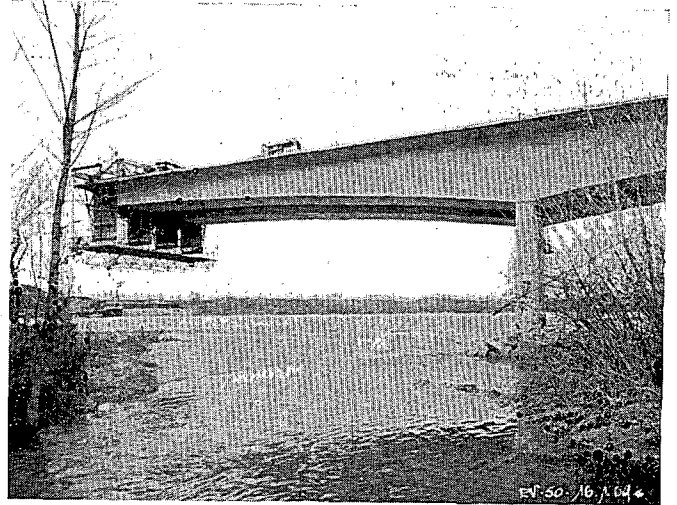
## SISTEMA DYWIDAG



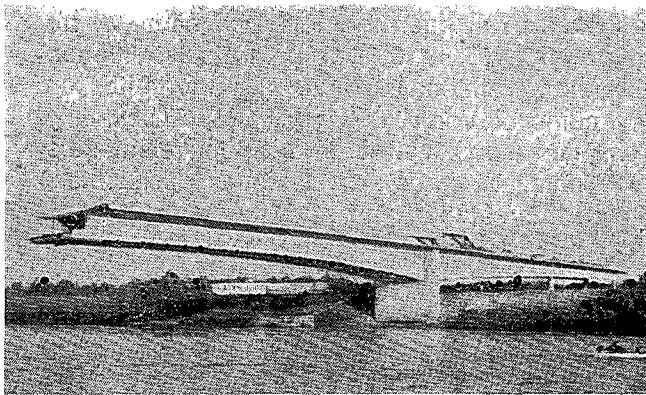
Viaducto Emoli I, Italia.

Luz máxima: 94 m.

## CAMPENON BERNARD

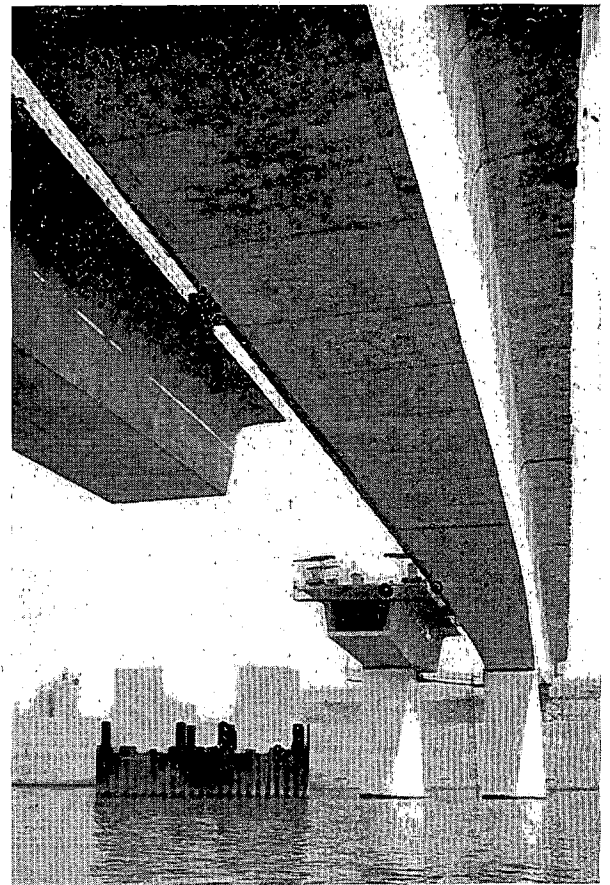


Puente de Givors.



Puente Wedersee, en Bremen.

Luz máxima: 121 m.

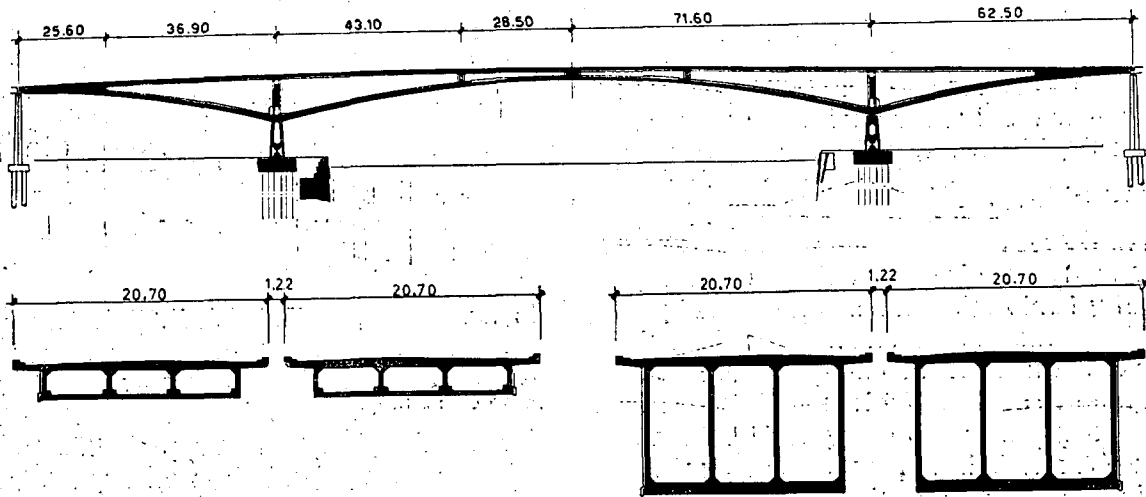


Puente de aguas arriba sobre el Sena para el Boulevard Peripherique, de París.

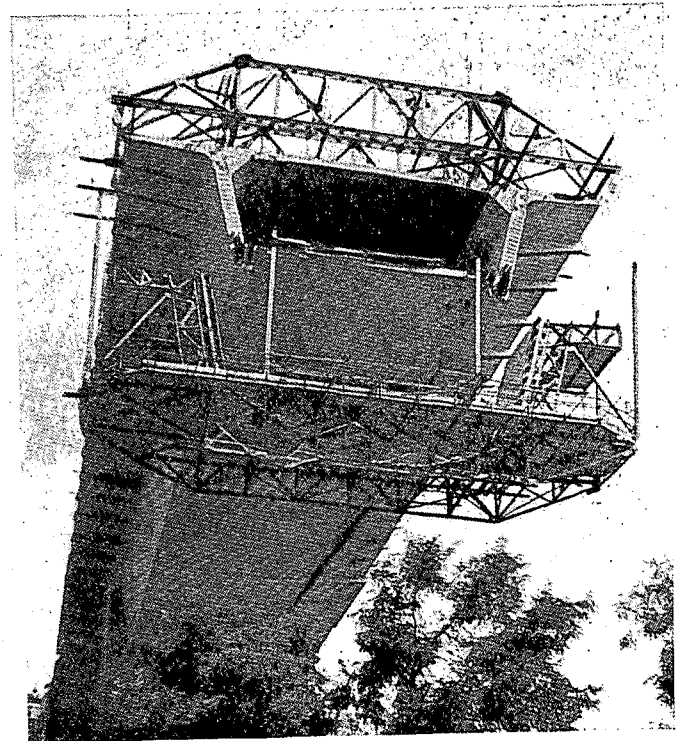
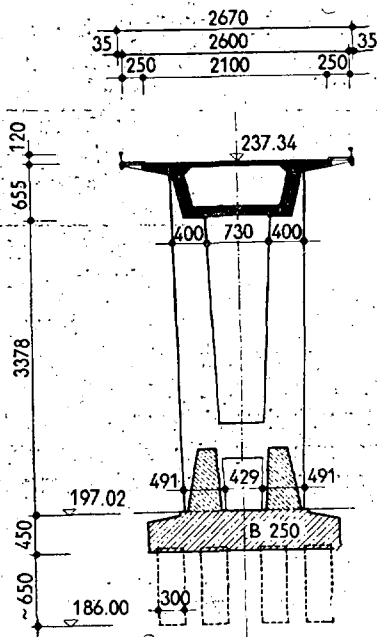
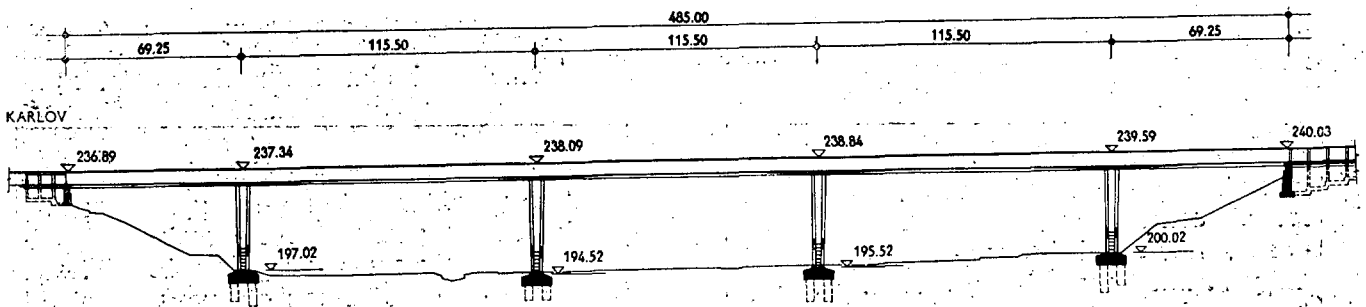
# PUENTES CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCCESIVOS MEDIANTE CARRO

PUENTE DE KINGSTON, EN GLASGOW.

Luces: 62,50 + 143,20 + 62,50

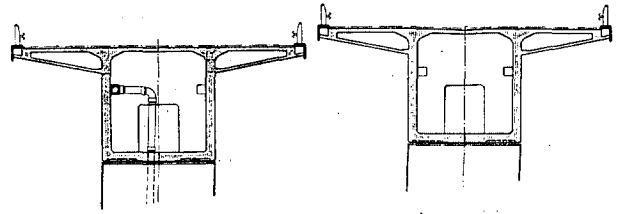
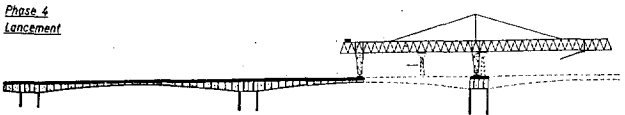
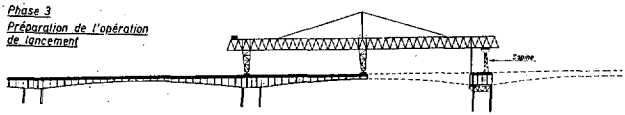
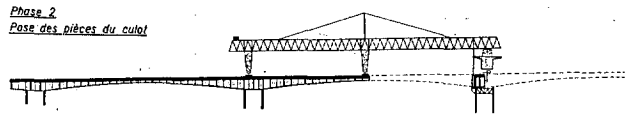
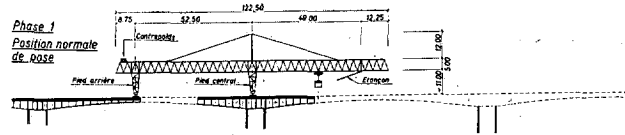


## VIADUCTO PARA CARRETERA Y FERROCARRIL DE NUSLE, EN PRAGA



# PUENTES POR DOVELAS EN VOLADIZO

VIADUCTO DE CHILLON

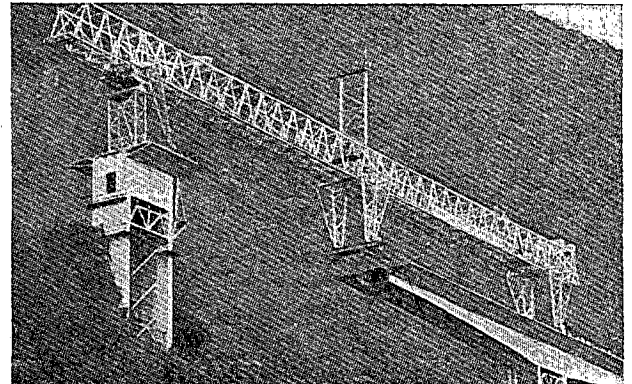
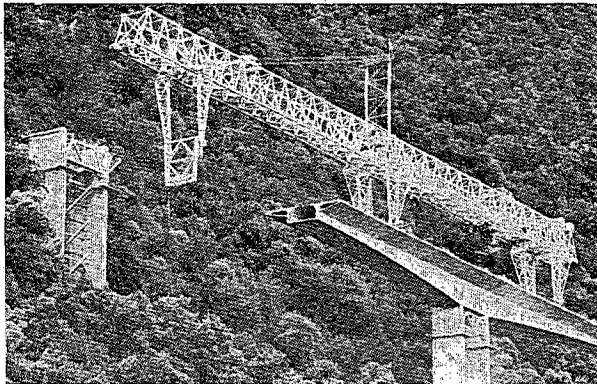


Secciones transversales

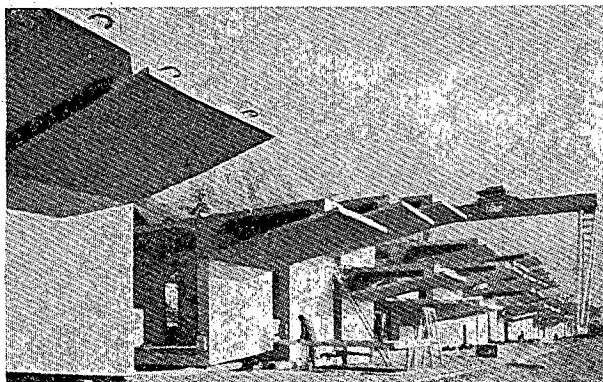
Proceso de montaje



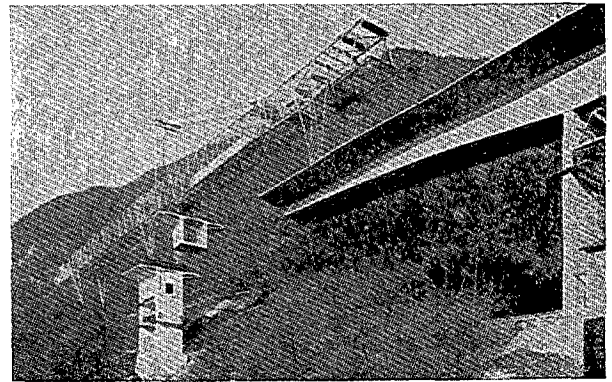
Armadura de una T



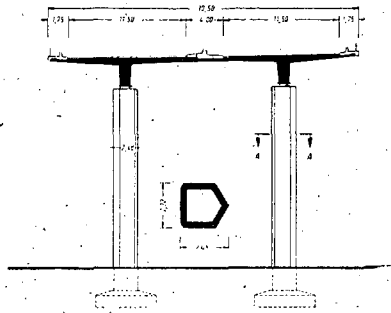
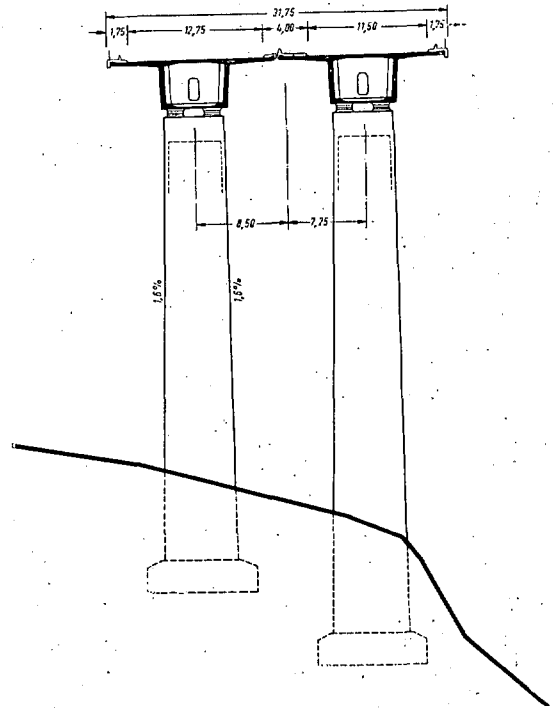
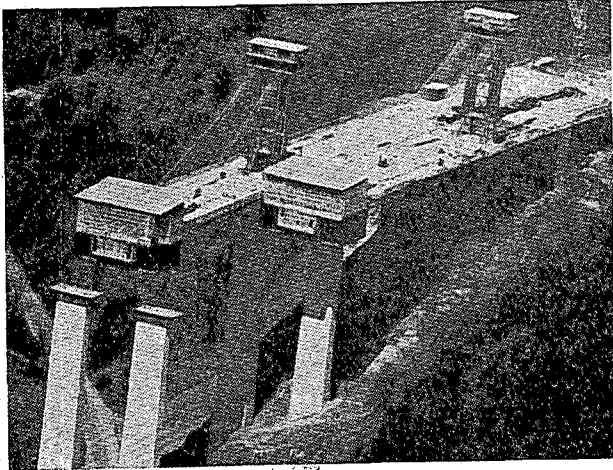
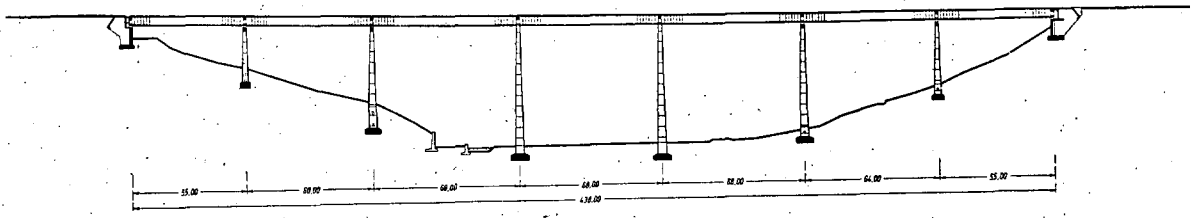
Lanzamiento del puente de montaje



Parque de dovelas



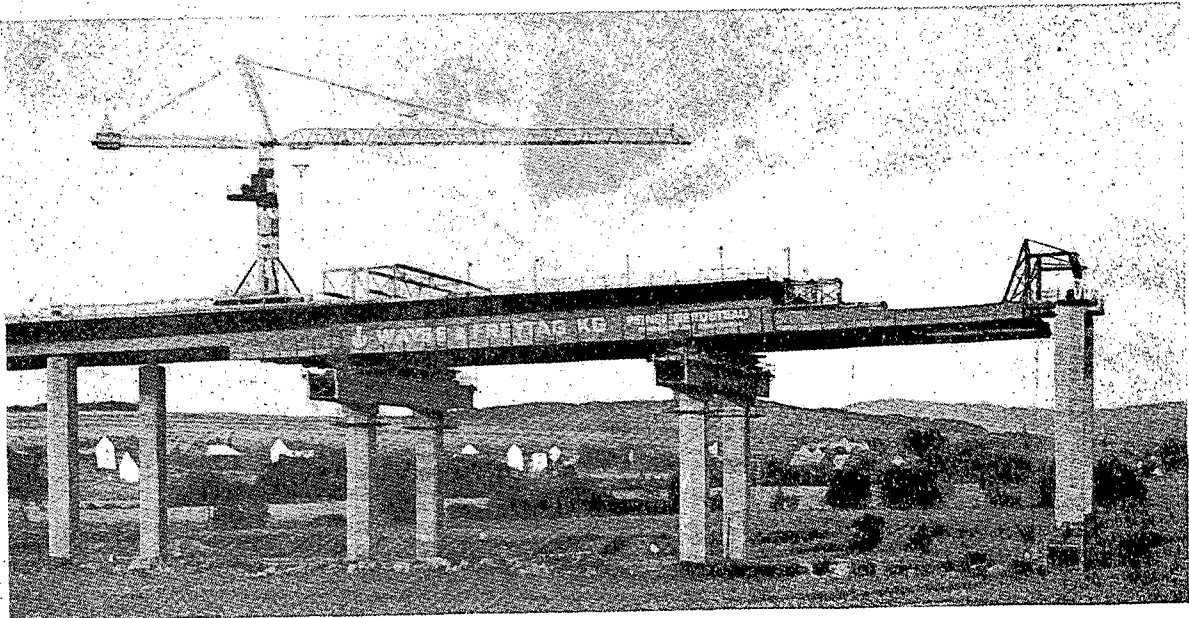
Montaje de una dovela



VOLADIZOS SUCCESIVOS:  
VIADUCTO AMBACHTAL

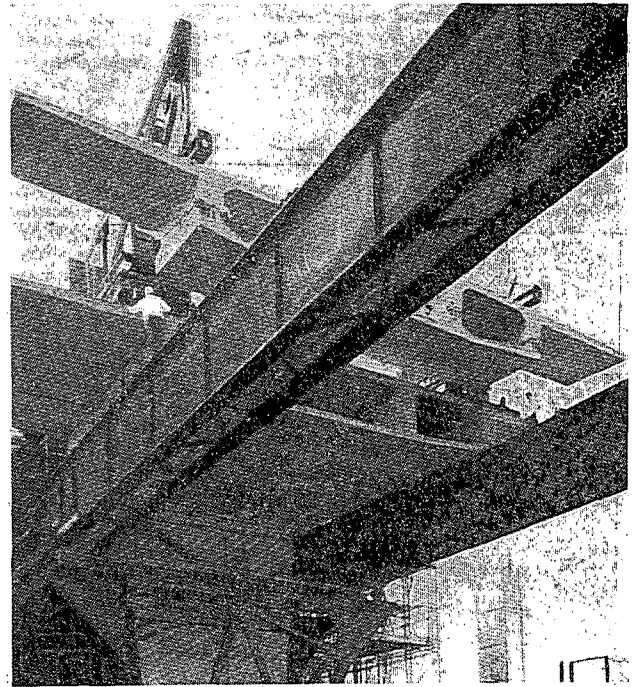
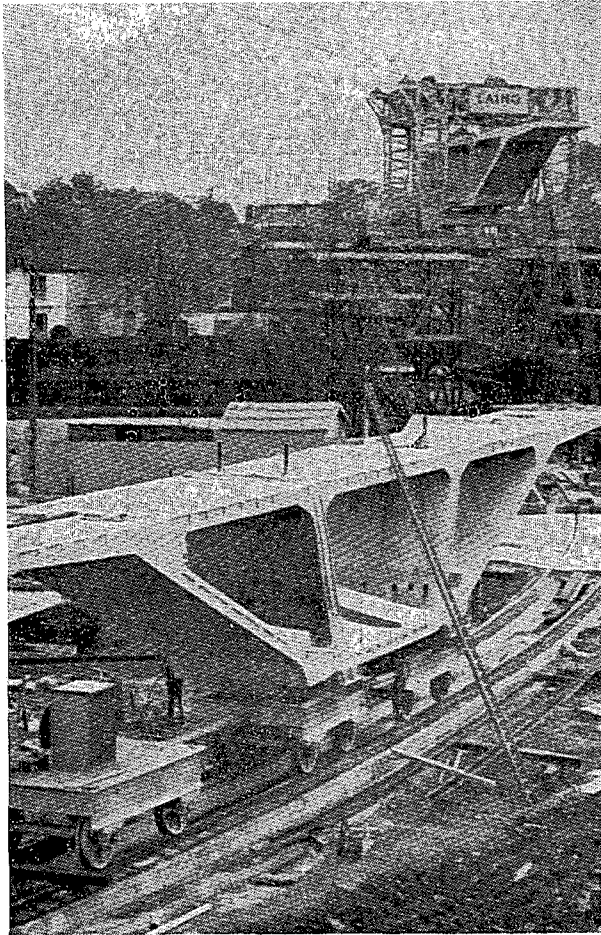
$$55 + 60 + 3 \times 68 + 64 + 55$$

CIMBRA TOTAL: VIADUCTO FULDA  
 $3 \times 30 + 26 + 32,55$





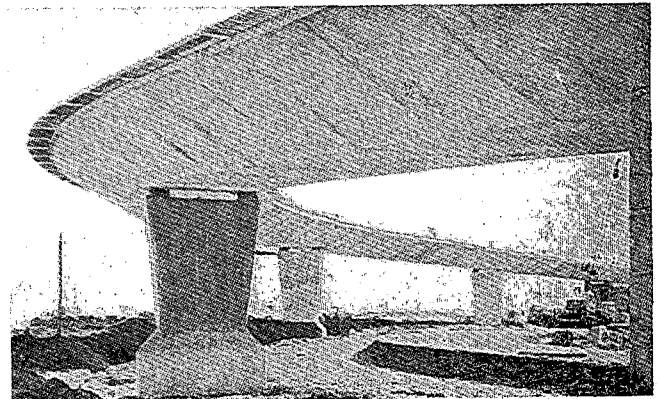
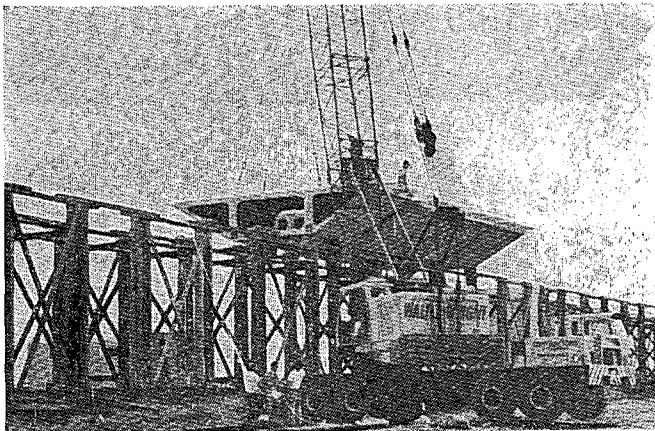
# PUENTES CONSTRUIDOS POR DOVELAS SOBRE ANDAMIO



Construcción del viaducto urbano de la Western Av., de Londres.

Maunsell & Partners - Laing

Viaducto urbano en Tullamarine (Australia)  
Lewis Construction Ltd - CCL





en tres luces continuas de 62,50 + 143,20 + 61,50. Las alturas del dintel varían desde 2,40 a 10,50 m. Los dos dinteles independientes se construyen en voladizos sucesivos mediante avance por carro, introduciendo apoyo complementario próximo a la pila, ya que esta se articula en cuanto a giros con el dintel. El pretensado es de tipo Macalloy con unidades de 220 Tn. obtenidas concentrando cuatro barras de 1 1/4 en anclaje común. La máxima tensión de compresión se ha reducido a 115 Kg./cm.<sup>2</sup> para disminuir los efectos de fluencia del hormigón, obteniéndose además un aumento de la relación de peso propio a sobrecarga. En las estructuras de acceso al puente principal con pilares en fila de cuatro para soportar por parejas los dos dinteles paralelos, van a sumarse un centenar de los mismos en cada uno de los accesos, por lo cual se estudió la forma de los mismos durante varios meses mediante diseños y maquetas, adoptándose un tipo articulado en el pie y empotrado en dintel dentro de la anchura de los núcleos resistentes que dan un recrimiento de espesor en dos bandas longitudinales.

Un puente de características análogas al anterior es el *Brielsche Maas en Holanda*, que es uno de los brazos del delta del Rin, estando situado en las proximidades del Ooster Schelde, por lo cual se ha utilizado el taller de prefabricación instalado para este último puente. Tiene tres vanos de 80,5 + 112,5 + 80,5 m. con pilas intermedias de tipo Nabra y se ha construido mediante montaje de dovelas por voladizos sucesivos desde ambas pilas, empleando el sistema de las juntas secas con epóxido, lo que ha hecho posible emplear dovelas de mucho menor peso que en aquél, realizándose el pretensado de enlace de las dovelas inmediatamente después de su montaje.

El *viaducto de Chillon* está situado en la autopista del lago Lemán, en una de cuyas laderas se ha implantado al no poder encajar la explotación que alteraba el equilibrio de las capas superficiales y destrozaba la espléndida arboleda, causando un grave perjuicio a la belleza del paisaje. Este tipo de viaductos de ladera es frecuente en laderas abruptas por uno de los dos motivos que apuntamos y a él pertenecen también los del Brenero y Würgan.

Por la misma razón de causar mínima alteración en el arbolado se proyectó una obra alta

para realizar por voladizos sucesivos, eligiéndose la solución de dovelas prefabricadas. La altura varía de 5 a 50 m., el trazado es casi todo en curva, enlazando arcos de círculo y clotoides entre 700 y 2 500 m. de radio. El terreno de cimentación influyó en el trazado ya que la profundidad de la roca se encuentra de 0 a 30 m.; se efectuó mediante dobles pilares de 2,20 m. de diámetro por cada uno de los dos tabiques que separados a 8 m. y sin ningún arriostramiento intermedio forman las pilas, o bien cuando la roca está próxima mediante zapatas escalonadas.

La obra se divide en dos viaductos paralelos constituidos por 22 elementos en T que forman vanos de 92, 98 ó 104 m. Cuatro juntas de dilatación dividen el viaducto en cinco trozos con pilas pendulares o suficientemente flexibles por su altura, excepto una en cada vano más rígida que aguanta el frenado. El diseño de los dinteles es el clásico de los puentes por voladizos sucesivos con un cajón por vía y cantos, variando desde 2,20 en el centro a 5,00 ó 5,60 en extremos, según la luz. El cajón de 5 m. de anchura se prolonga en dos voladizos de 4,00, que a su vez constituyen cajón al añadirse otra losa inferior inclinada en toda su longitud. De este modo se tiene un volante térmico que reduce el riesgo de formación de hielo en la calzada.

Las dovelas de cada voladizo son 13 de 3,20 de longitud que pesan de 45 a 80 Tn., se anclan al resto del voladizo mediante cuatro unidades activas de 145 Tn. Freyssinet y se pegan con resina epóxido. Se colocaban normalmente cuatro pares de dovelas por día con puente metálico auxiliar de 122 m. de longitud, el mismo que se utilizó para el puente de Oleron.

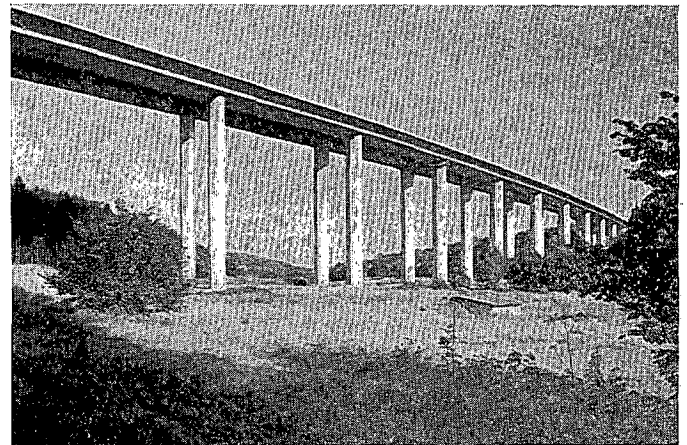
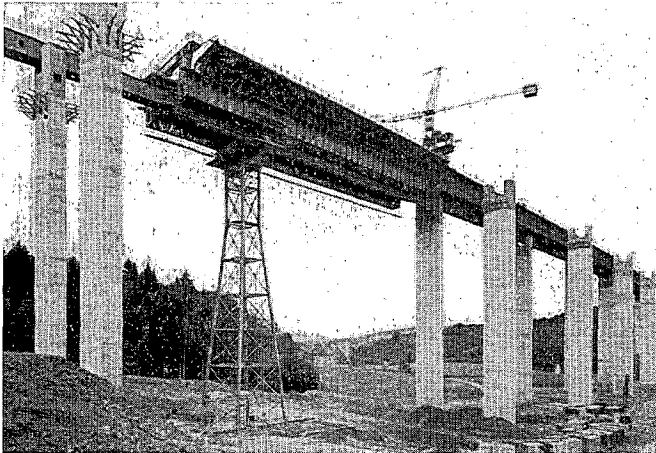
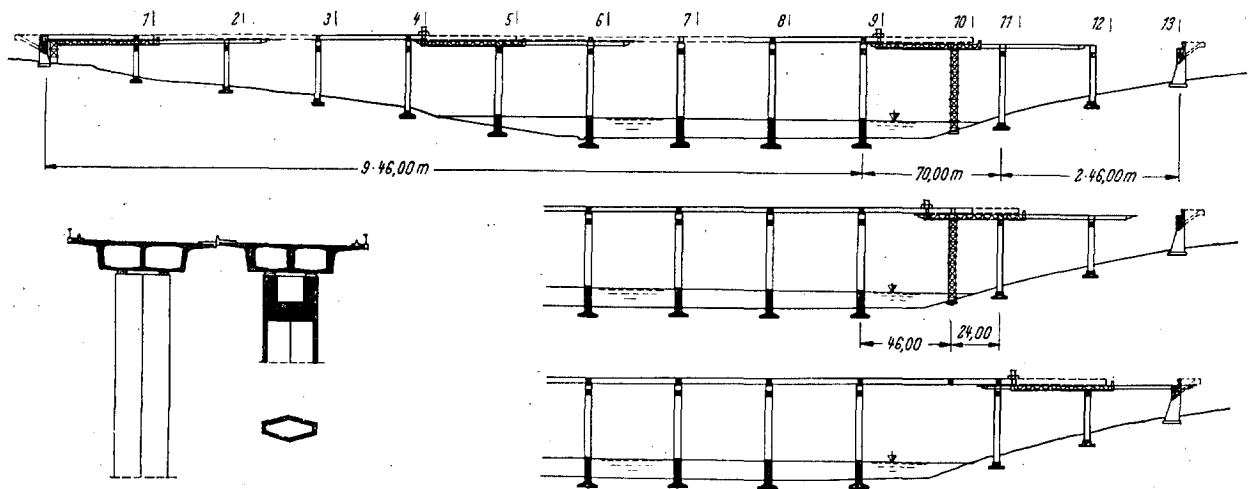
Por el procedimiento de voladizos sucesivos con avance mediante carro y construcción *in situ* se llevan a cabo los seis vanos centrales del puente que será el de mayor longitud en Europa, de unos 5 400 m. de longitud, enlazando la *isla de Oland* en el mar Báltico con la ciudad de Kalmar en el continente. Tendrá 155 vanos de los cuales seis serán de 128 m. de luz dejando un gálibo de 36 m. de altura para navegación.

Uno de los puentes más importantes construidos por el sistema de carro será el puente de Nusle que se construye en Praga y que describimos entre los ferroviarios.

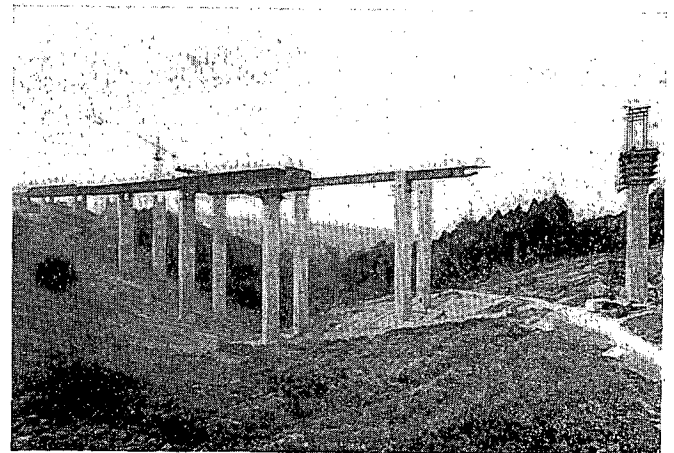
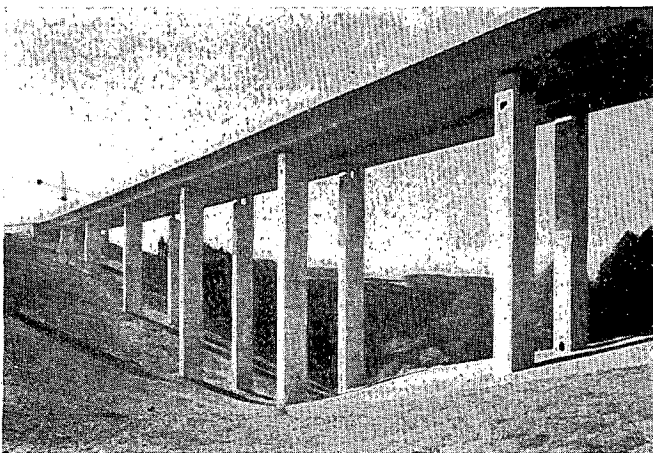
La empresa Campenon-Bernard practica el sistema de los voladizos sucesivos, tanto me-

# CIMBRA TOTAL DESLIZANTE. - POLLENSKY & ZÖLLNER

## VIADUCTO DE DÖLLBACHTAL



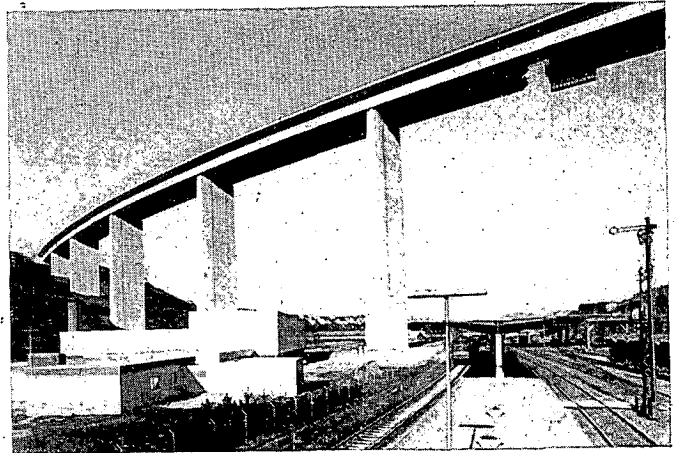
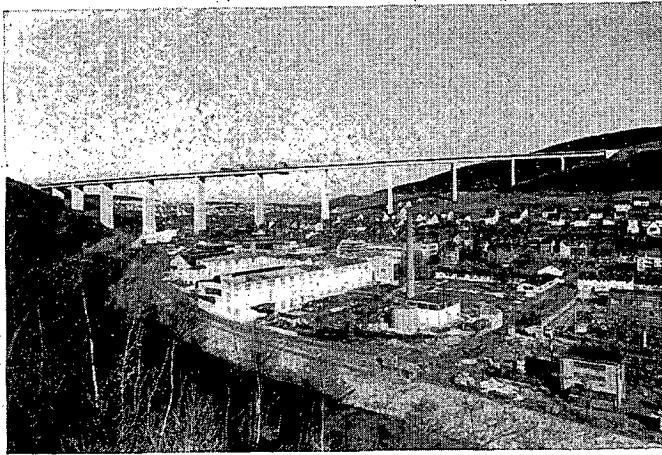
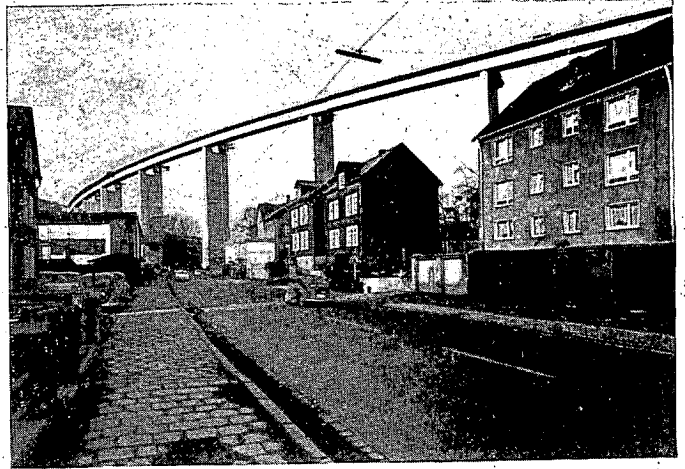
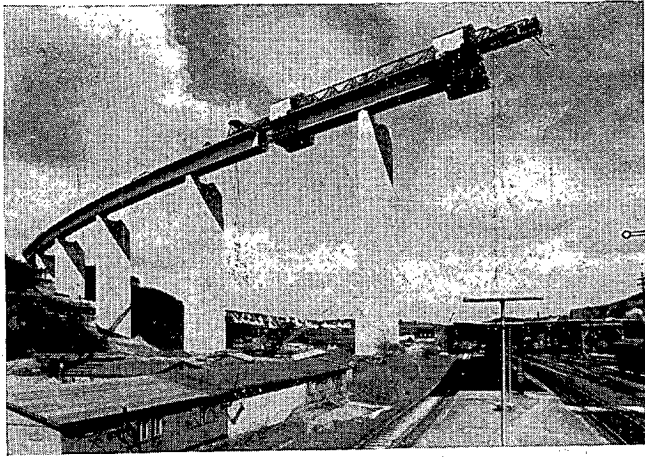
## VIADUCTO DE EICHENBLECK



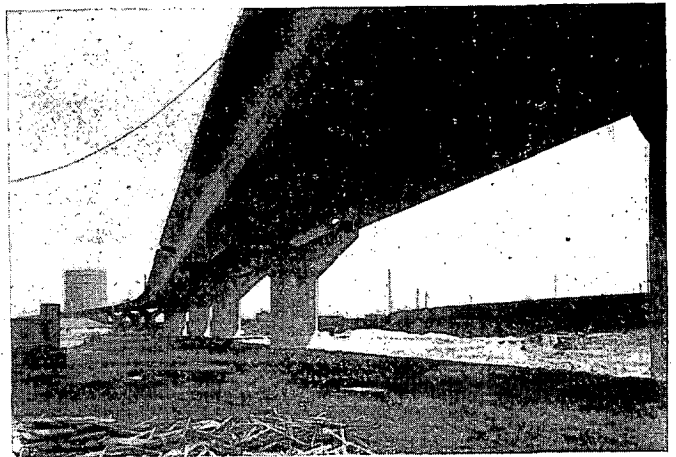
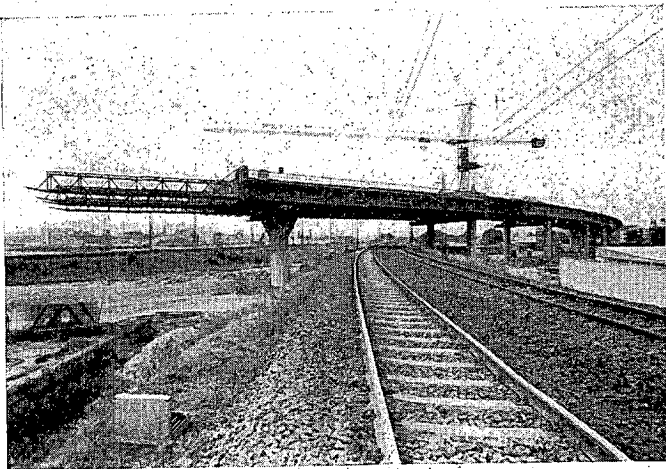
# CIMBRA TOTAL DESLIZANTE. POLLENSKY & ZÖLLNER

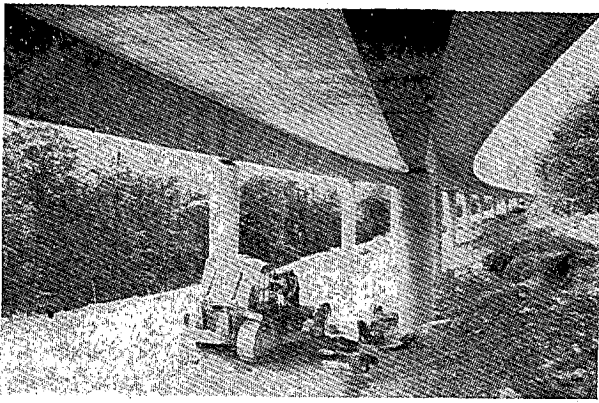
VIADUCTO DE EISERFELD

Luces máximas: 105 m.



## TANGENCIAL DE MAINZ

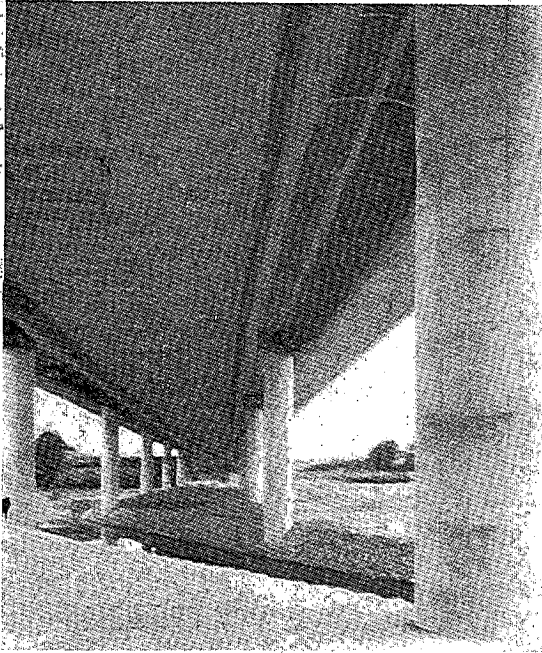
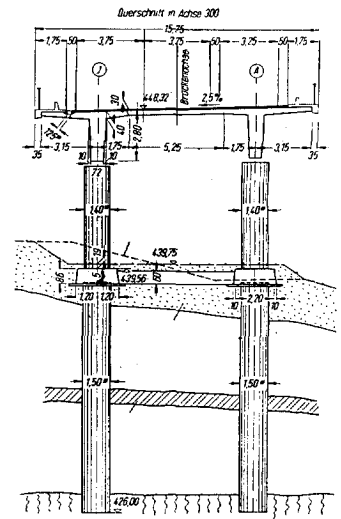




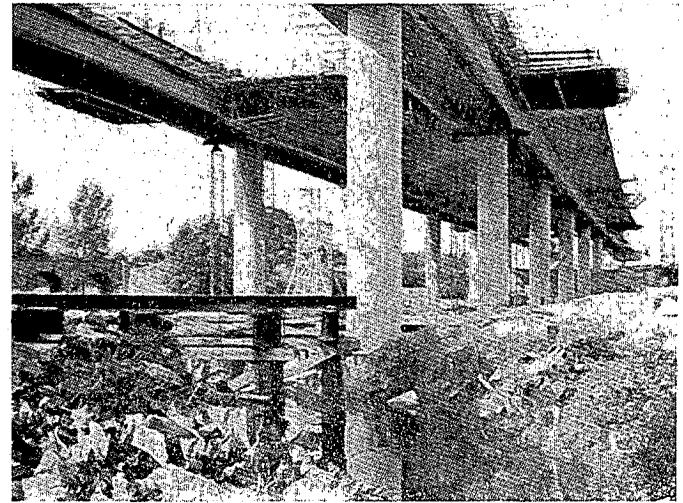
# VIADUCTOS REALIZADOS CON CIMBRA TOTAL DESLIZANTE

Viaducto Würgan - Philipp Holzmann

lucos:  $30 + 9 \times 39 + 30$

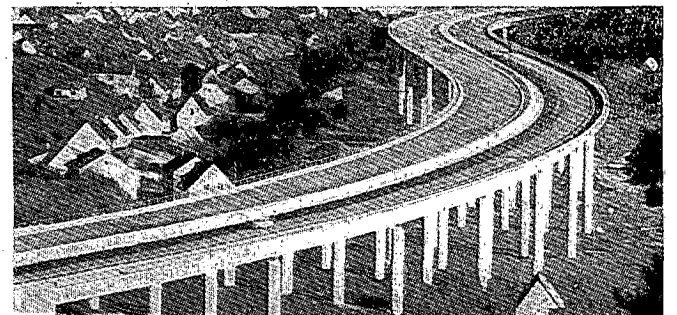
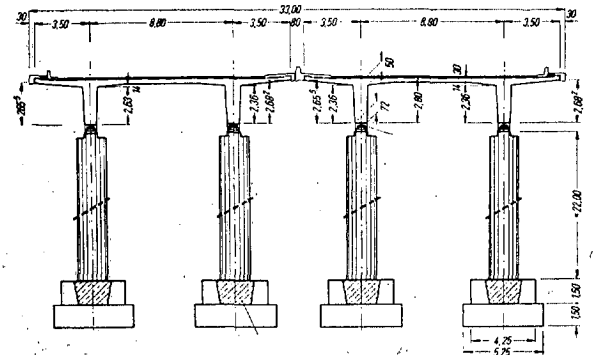
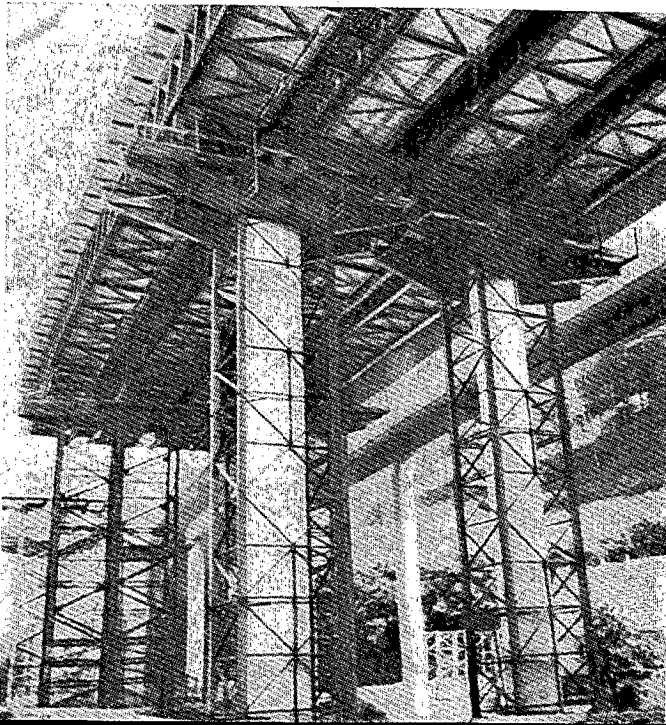


Puente Düte. Dywidag



Viaducto Sechshelden de autopista Dortmund-Hagen. Philipp Holzmann.

Luces normales: 47,65 Luz máxima 72,60





diente carro como por dovelas prefabricados, como ya hemos visto en artículos anteriores. En el último año construyó en el boulevard Peripherique de París el puente sobre el Sena, denominado Pont d'Amont, por el segundo procedimiento, y el puente de Givors para carretera mediante avance de carro.

Las dovelas pueden utilizarse para disminuir el tiempo de empleo de la cimbra, llevando la sucesión de éstas a montarlas directamente sobre la cimbra, realizando las juntas entre ellas, bien mediante hormigoncillo con junta de más de 5 cm. de anchura o por junta con epóxido, para lo cual conviene haber moldeado las dovelas una junto a otra o haberlas realizado en moldes muy perfectos. Este sistema es muy característico de los ingleses que lo han empleado entre otros en los puentes Hammersmith, Mancuniam y en el de la radial de la avenida Oeste, de Londres.

En este último viaducto, que corresponde a la primera arteria de la red general de Londres, se están llevando a cabo especialmente dos obras de gran importancia, ambas construidas por el sistema de dovelas prefabricadas con la sección total del viaducto, que con pesos entre 50 y 125 Tn. se montan sobre andamio metálico auxiliar, dejando juntas de unos 10 cm., que se rellenan para formar tramos completos, pre-tensándose la totalidad con arreglo a un plan sucesivo.

El más importante es un viaducto de unos 1 100 m. y 19 vanos con luces de  $44 + 17 \times 61,50 + 44$  en continuidad, sección en cajón trapecial tricelular prolongado en vuelos de losa superior con anchura total de 28,50 para seis carriles y peso de 105 Tn. en las dovelas normales y 125 en las de anclaje sobre pilar único de silueta trapezoidal. Se pretensa en las tres direcciones longitudinales, transversal y vertical. El número total de dovelas necesarias es de 477.

El segundo en importancia para cuatro carriles con 18,30 de ancho, tiene diez vanos en continuidad con luces de alrededor de 30 m., teniendo sección rectangular tricelular prolongada mediante vuelos del tablero y construida por dovelas de 50 Tn. En las rampas de enlace con dos carriles se adoptan secciones en cajón simple trapecial y tramos continuos.

Un paso también interesante construido por este mismo sistema de dovelas prefabricadas en rebanadas completas, que se van montando sobre andamio auxiliar hasta completar la estructura, es el de la rampa elevada para acceso de vehículos al primer piso del edificio terminal del aeropuerto de Tullamarine. La sección es también trapecial con tres alvéolos y vuelos complementarios de losa superior, con dovelas de 34 Tn. y longitud de 2,85 m. para luces continuas de 24 y 36 m. Las dovelas se soldaron mediante juntas húmedas de 5 cm. de grueso. La anchura de plataforma es de 12,70, y el dintel se apoya a través de articulaciones de neopreno sobre fila única de pilares anchos de 3,30 en coronación. Se hizo un modelo reducido de Araldite a escala 1 : 12 de un tramo de 36 metros para estudiar las reparticiones de flexiones, torsiones y acciones locales en los voladizos.

#### *Cimbra deslizante.*

En luces medias la prefabricación se ha encontrado en estos últimos años con la competencia de la cimbra deslizante que lleva incorporado el encofrado, y que en un plazo de diez días realiza todas las operaciones necesarias para dejar un tramo completo.

El proceso de cimbra deslizante para tramo completo ha ido extendiéndose, y comenzado por Diwidag y Pollensky & Zöllner en Alemania, ha ido adoptándose por otras empresas del mismo país y en otros distintos, especialmente Austria.

Se ha terminado el viaducto de Eiserfeld, donde se ha combinado el procedimiento con el de construcción por voladizos sucesivos mediante avance de carros simétricos desde las pilas, cargando sobre la cimbra únicamente los carros y las dos secciones que se hormigonan a un tiempo. Con luces hasta 105 m. y alturas del mismo orden se han salvado calles, zonas ferroviarias y la mayor parte de los edificios que caían en su planta. La misma empresa, Pollensky & Zöllner, que ha realizado este viaducto ha llevado a cabo los de Döllbachtal, con nueve vanos de 46,00 m. y uno de 70 m., que por ser extraordinario se resolvió con apoyo intermedio de la cimbra. Otros puentes construidos por la misma Empresa son: el de Eichenbleck, el de Döllbachtal y el de la tangencial de Mainz.

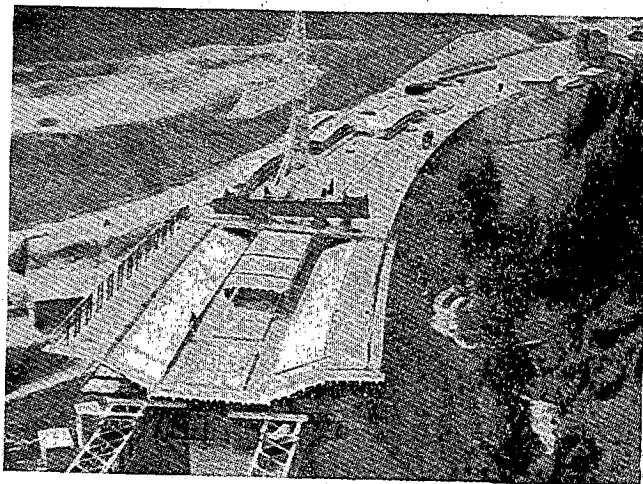
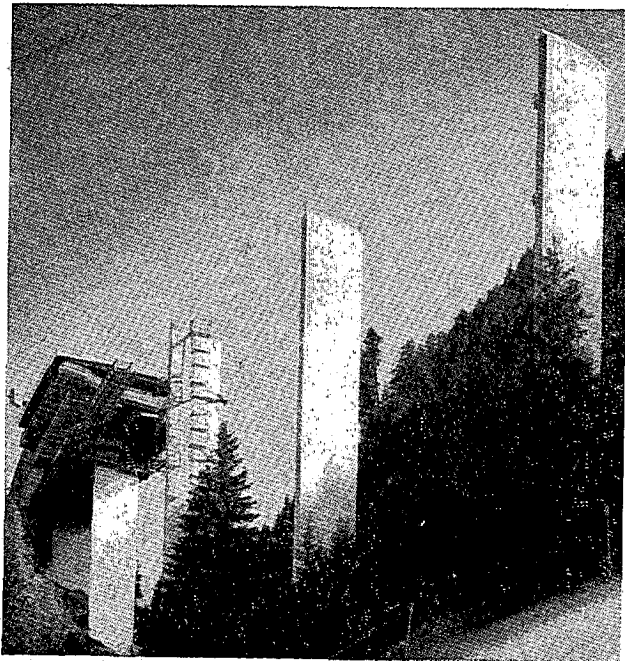


# CIMBRA TOTAL DESLIZANTE

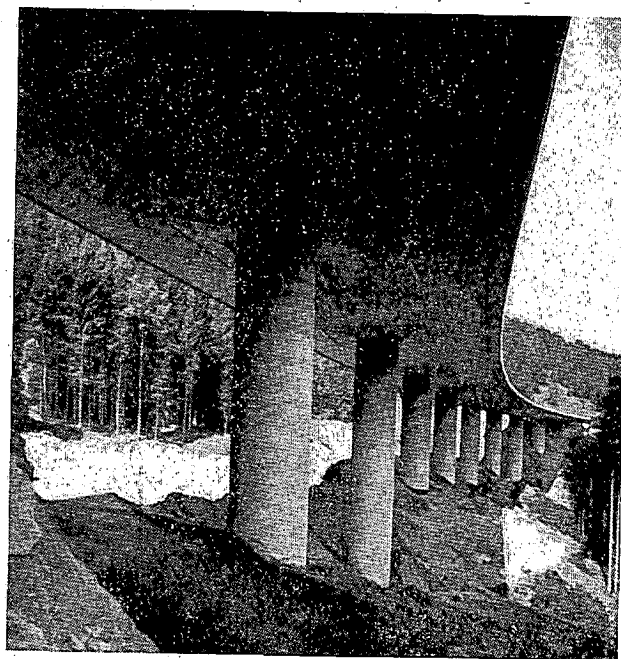
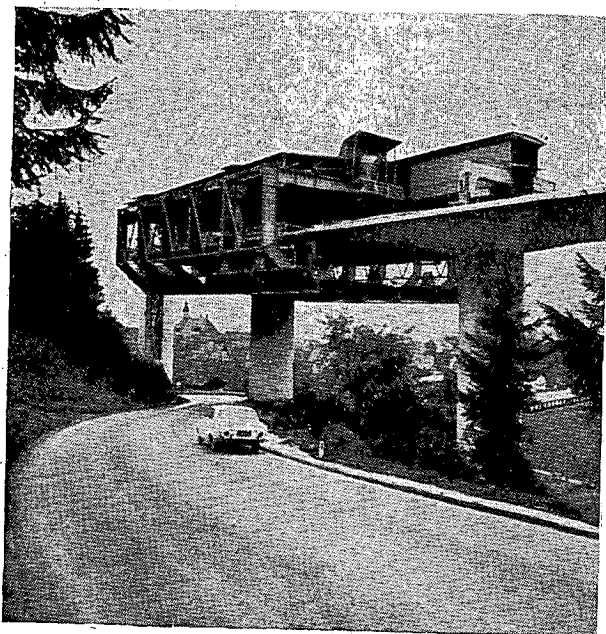
VIADUCTO LUEGBRÜCKE EN LA AUTOPISTA DEL BRENNERO

HELD & FRANCKE

Luz máxima: 35,80



# VIADUCTO DE PASCHBERG. - DYWIDAG



La empresa Weiss & Freytag ha construido el de Fulda con 29 luces de 30 y 32,55 m. y una sección en  $\Gamma$  para 30,50 de latitud, constituida por la integración de dos T verdaderamente afinadas sin elementos transversales intermedios; y el de la ronda exterior de Itzeloe con un vano central de 115 m. y 25 de 40,00. En estos últimos se ha utilizado también la sección en  $\Gamma$ , aunque con vigas transversales y sólo 16,50 de latitud. El tramo central con el vano de 115 y los dos de compensación se hicieron por voladizos sucesivos. La misma empresa ha construido el viaducto de Ambachtal para la autopista de Dortmund, dividiéndolo en dos mitades organizadas en cajón de altura constante para avance unidireccional en voladizos ayudados por cables superiores externos. Las luces, que son siete, van de 55 a 68. La altura máxima es de 68 m., y la longitud total, 438.

En la evolución de las secciones transversales de los dinteles de puentes, una solución que merece destacarse es la de sección  $\Gamma$  pura, es decir, de dos vigas longitudinales enlazadas únicamente por tablero superior que desborda por los lados con vuelos importantes. En algunos casos sólo existen vigas transversales sobre apoyos, pero en la mayoría de los dinteles continuos no se ve ninguna viga transversal en toda la longitud del puente. Como es lógico, los apoyos son pilares aislados en dos filas siguiendo la alineación de las vigas.

El puente característico de esta serie es el que publicamos en el artículo anterior. Últimamente se han terminado el del valle de Exterheide, con una longitud total de 431,50, dividida en 12 vanos continuos de 32 m. y finales de 23,75 para autopista desdoblada en dos plataformas de 16 m. cada una. Las vigas son rectangulares, con una altura de 2,30 m. Otro es el viaducto de Sechshelden, con planta en S de curvaturas pronunciadas también para plataforma desdoblada de  $2 \times 16,50$  y sobre apoyos cilíndricos de 1,80 m. de diámetro en luces continuas de 47,65, excepto cuatro extraordinarias de 52,00, 54,00, 61,80 y 72,60. Las vigas tienen una altura de 2,80 m. a separación de 8,80 m. Se construyó mediante cimbra con encofrado que se trasladaba de vano en vano, ayudándose sobre la extremidad en vuelo de lo ya construido sobre el apoyo siguiente y sobre dos apoyos auxiliares en los centros de los vanos afectados. Esto daba elasticidad para construir longitudes

diferentes según la luz de los vanos y resolver por partes el problema de la curvatura.

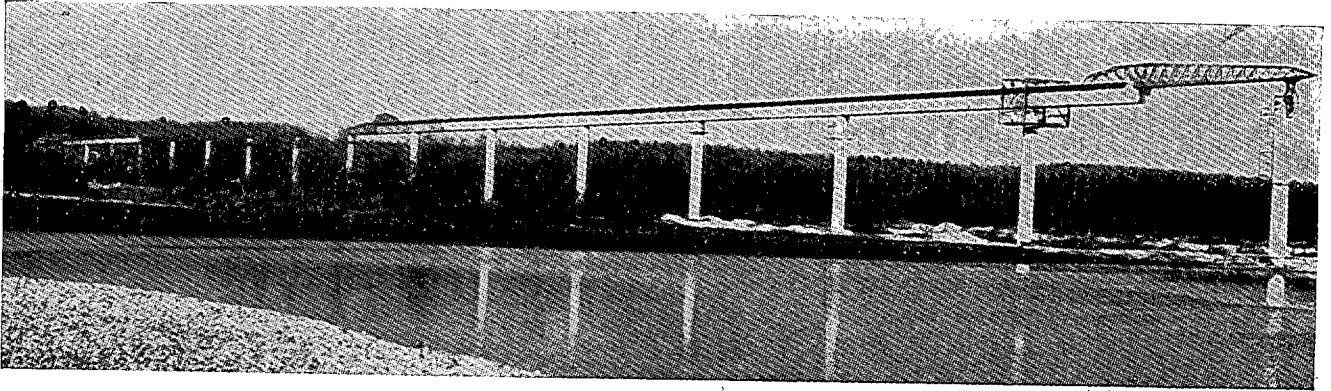
En todos estos puentes la simplificación constructiva correspondiente a no tener vigas riostras, se auna a la simplicidad de aspecto en el caso de viaductos urbanos. Una sola complicación se introduce en lo referente a cálculo, pero este ha quedado totalmente resuelto y se reduce en definitiva a un programa de ordenador.

Ampliando un poco el tipo podemos considerar el puente Dütte, en Osnabrück, con dos vigas en cajón abierto a 16,00 m. entre ejes para una plataforma de 30,50 m. de latitud total y longitud de 276,40 m. sobre columnas de 1,65 metros de diámetro con siete vanos de 32,55 m. y dos terminales de 24,28. Se construyó sobre andamio con apoyos en las columnas y en el centro del vano y cimbras longitudinales que se iban trasladando con todo el encofrado de uno a otro vano. Dada su gran luz transversal, la losa entre los cajones se ha dispuesto nervada.

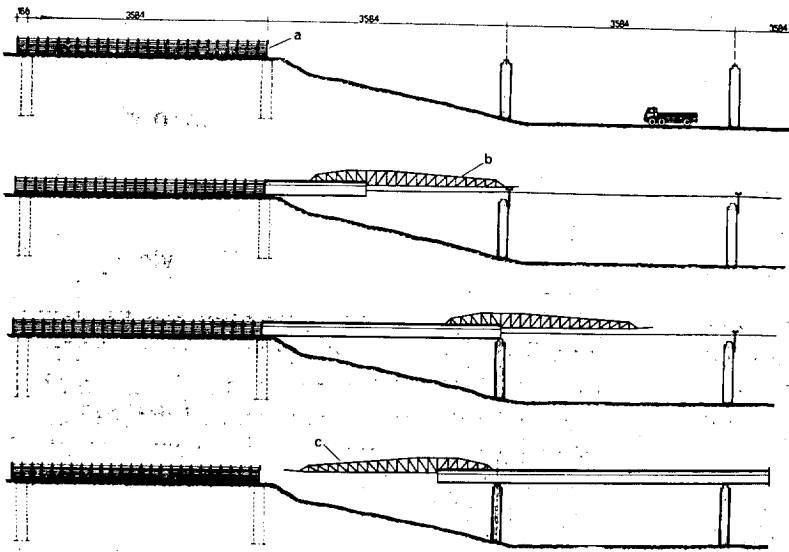
La empresa Philipp Holzmann también ha construido por este sistema los viaductos de Würgan, con nueve vanos de 39 y terminales de 30, y el de Sechshelden, con luces normales de 47,60 y una máxima de 72,60, aunque dificultó la construcción del segundo su plataforma con curva y contracurva acentuada. La sección en ambos es en  $\Gamma$  muy amplia, sin elementos transversales para latitud total de orden de 16 metros.

Otros viaductos interesantes son los de la autopista de Brenero, uno de los cuales, el de Luegbrücke, con 38 luces de 35,80 m. a grandes alturas y con longitud de 394 m. que se terminó en 1938. La sección construida *in situ* es en  $\Gamma$ , pero queda cerrada por tres losas prefabricadas, dos inclinadas y una central horizontal, que se colocan sobre la cimbra antes de hormigonar el resto. La latitud total es 22,50 metros y la de la base inferior del trapecio 6,15, que es igual al ancho de las columnas. Estas son exagonales huecas, variando su espesor con la altura. En años anteriores se han ejecutado otros viaductos de menor altura, con columnas cilíndricas reforzadas por capiteles solidarios del tablero tipo Dywidag.

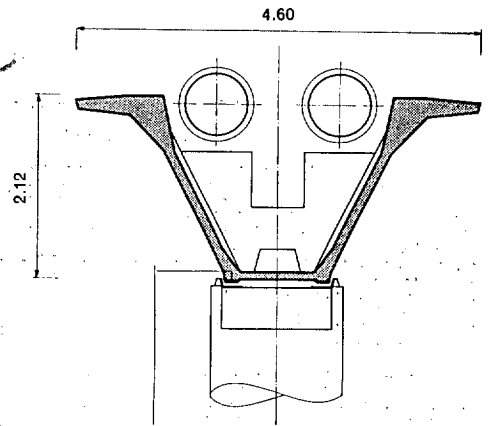
*Tramo empujado.*—Una nueva aplicación del sistema de montaje, iniciado por Leonhardt



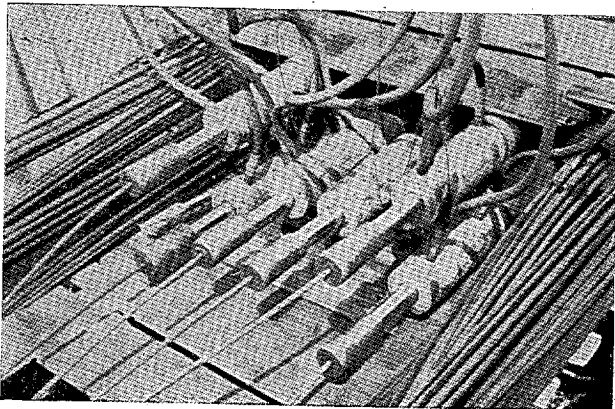
Vista durante construcción



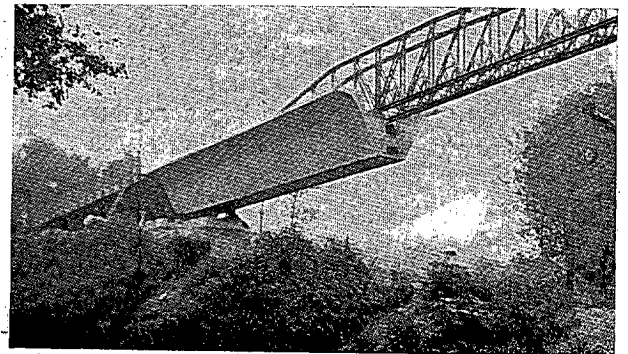
Proceso de montaje



Sección transversal

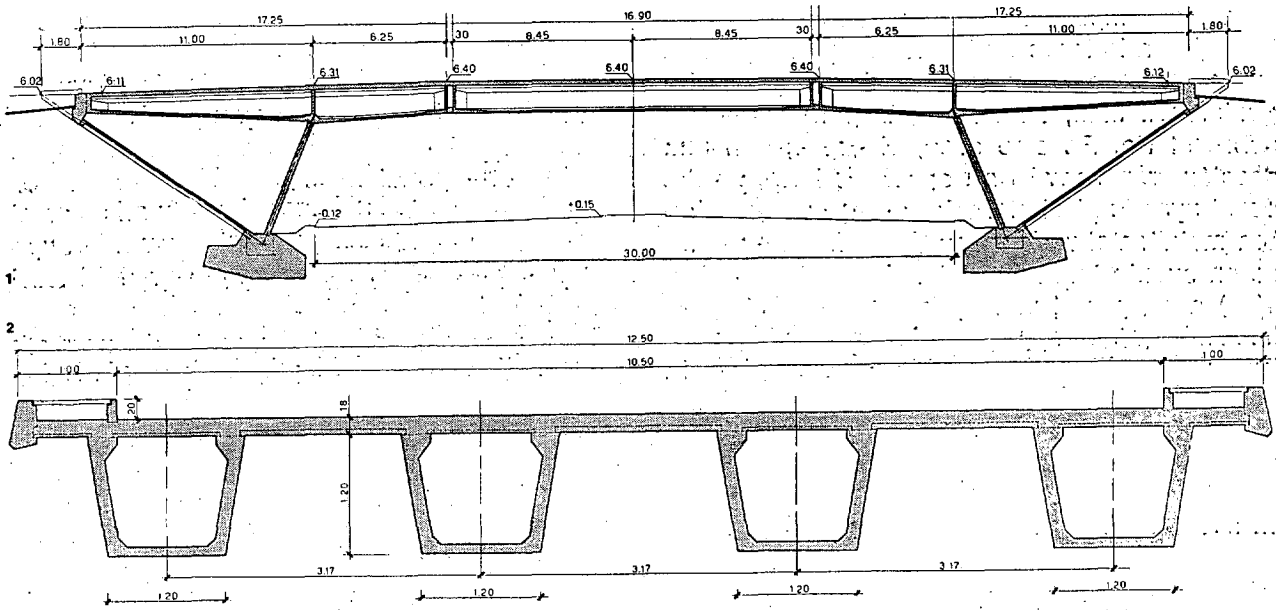


Gatos de empuje



Pico de lanzamiento

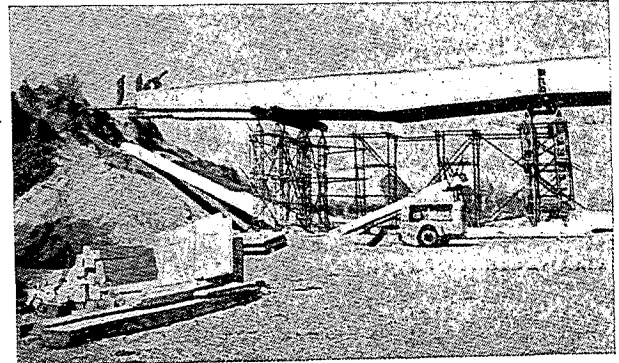
# PASOS PREFABRICADOS NORMALIZADOS EN LA AUTOPISTA TORINO - PIACENZA



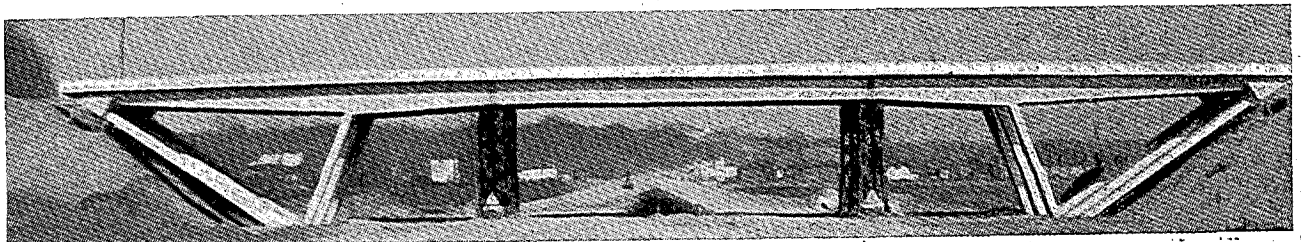
Detalles de la estructura.



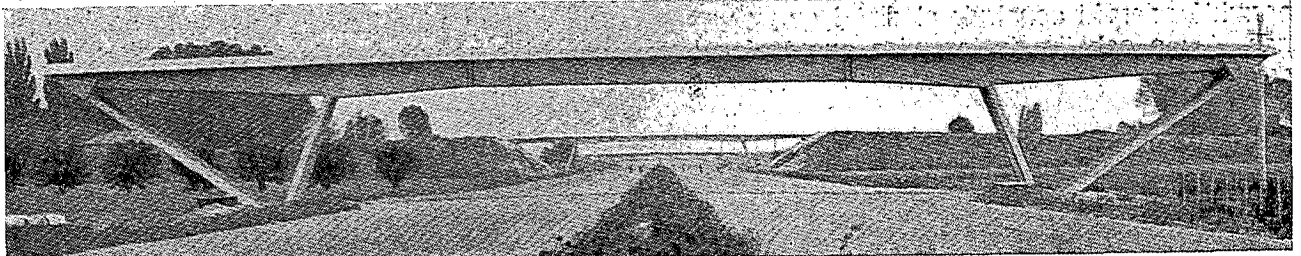
Montaje de elementos de viga.



Montaje de la célula.



Vista de la obra durante montaje.



Vista de la obra terminada.

en el puente del Caroni, de prefabricar dinteles continuos empujándolos longitudinalmente para lanzarlos a lo largo de los vanos, y situarlos en su posición definitiva se ha realizado por el ingeniero Giuliani, en un puente para oleoducto sobre el Po. En este caso, el dintel, con una sección transversal en trapecio abierto, se iba construyendo por longitudes de un vano en cimbra metálica situada en posición fija, lanzándose en cuanto tenía consistencia suficiente (diez días) a ocupar el vano primero, haciéndose el lanzamiento con ayuda de pico avanzado de estructura metálica. En seguida se procedía a la construcción del segundo tramo en prolongación del anterior, que a su vez se lanzaba del mismo modo, llegando a longitudes de 215 metros y peso de unas 2 500 Tn. El deslizamiento se llevaba a cabo sobre las mismas articulaciones definitivas de teflón colocadas definitivamente sobre pilas, y se empujaba con cinco gatos especiales. El dintel llevaba dos líneas de deslizamiento formadas por perfiles de acero inoxidable solidarios en la base desde moldeo. Se llegó a empujar hasta tramadas de seis vanos que se llevaban hasta su situación definitiva, mientras se continuaba el proceso por ambas orillas. El conjunto avanzaba con picos de lanzamiento por ambos costados y también iba provisto de cables rectos pretensados provisionales para el lanzamiento. El puente tiene una longitud total de 1 362 en vanos de 35,84 metros, agrupados en cuatro tramadas de seis vanos y dos de siete vanos. El sistema de pretensado es V S L.

Un *puente continuo* de gran luz, con silueta tradicional en los puentes de hormigón, es el de Durchstich, sobre el Neckarsulm, proyectado por Leonhardt & Andra con tres vanos de 80 + 151,20 + 80 desdoblado en dos iguales, cada uno de los cuales es un cajón rectangular de altura variable con vuelos simétricos. La armadura típica del mazo total, tipo Leonhardt, que va de extremidad a extremidad, se refuerza en las zonas inmediatas a las pilas por adición de un conjunto de unidades activas cortas, sistema Zublin, en disposición de cables sombrero, o en la losa superior. Esto permitió además construir el dintel en tres zonas, dos a caballo de las pilas que tenían la armadura complementaria y un sistema provisional de apoyos y después las zonas restantes sobre andamios, procediéndose después a la

formación del bloque activo en el centro del cajón mediante una devanadera como las de formación del cable de los puentes colgados, colocándolo después en la posición definitiva junto a las caras internas del cajón para después del tensado total hormigonar las fajas de protección correspondientes.

#### *Prefabricación en pasos de autopistas.*

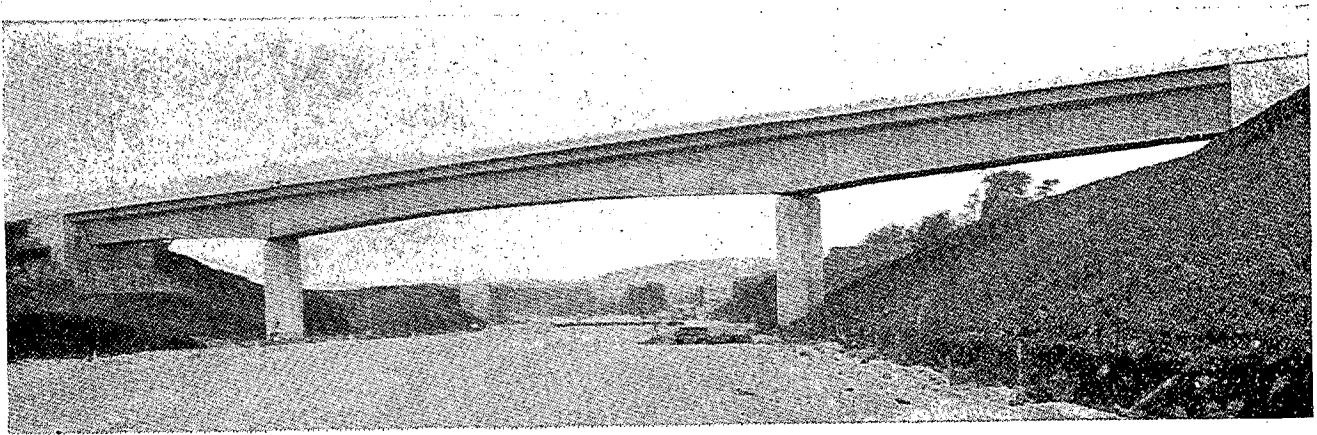
Un ejemplo muy interesante de normalización de proyecto y obra de pasos pretensados es el llevado a cabo en la autopista Torino-Piacenza, donde para los 146 pasos superiores de la misma se ha utilizado una disposición estructural de dintel sustentado en células triangulares, con luz entre vértices de 34,80, longitud total de 51,40 y latitudes de tablero de 5,50, 7,50, 9,00 y 12,50 m., que se realizan mediante vigas en cajón trapecial dos, tres o cuatro siempre iguales geoméricamente, variando la separación, y con ella, la armadura. Las vigas se prefabrican en tres trozos de 17 m. de longitud y con sección abierta para empalmarlos en obra mediante hormigonado de nudos, que son además atravesados por viga riostra. El canto total de las vigas resulta ser de 1,38 en zona central. Los pilares inclinados a compresión son de 1,10 x 0,30 y se prefabrican para conseguir una altura de gálibo de 4,75. También se prefabrica una parte de la cimentación que enlaza las dos piezas inclinadas mediante plinto, que se apoya directamente sobre el terreno, o a través de un macizo de hormigón ejecutado en el sitio, o bien recoge los pilotes cuando sea necesario. Al final se hormigonan en el sitio los cartabones de enlace de péndolas y tablero en extremidades, y por último, se colocan unos elementos prefabricados formando los bordes laterales del vuelo del dintel en toda su longitud.

#### *Puentes ferroviarios.*

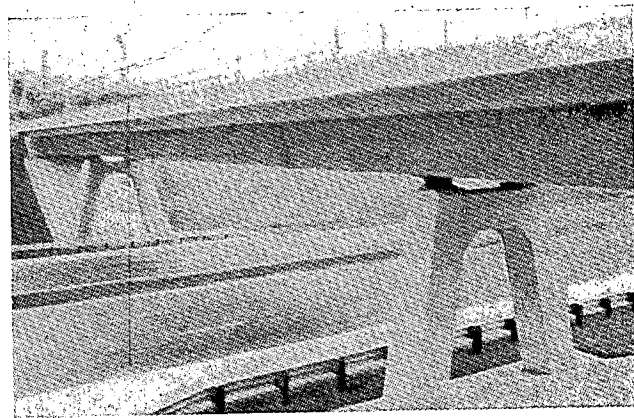
En *puentes ferroviarios* de hormigón pretensado los ferrocarriles ingleses han seguido su tradición que les llevó a aceptar desde el principio las soluciones de la nueva técnica. Muchos casos de utilización de éstos han sido obligados al sustituir obras antiguas por otras nuevas de mayor luz a consecuencia del au-



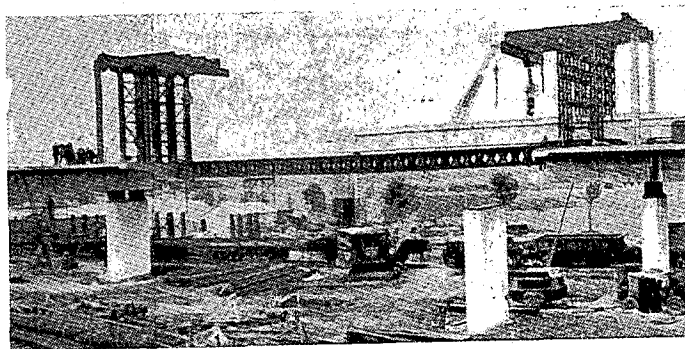
# PUENTES PARA FERROCARRIL EN LA LONDON MIDLAND REGION



Puente Clifton: 30,4 + 57,50 + 30,4



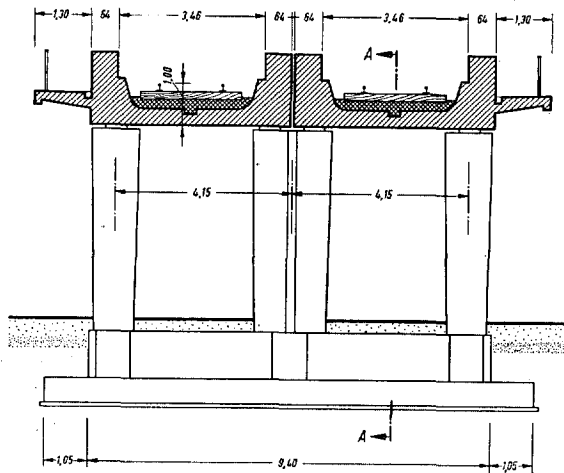
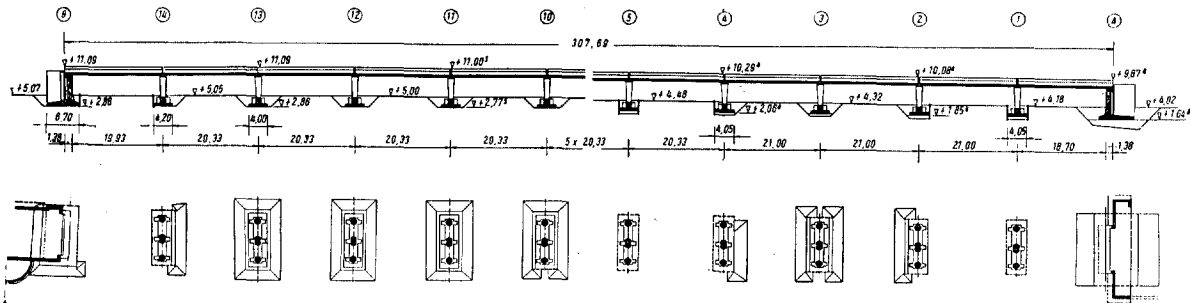
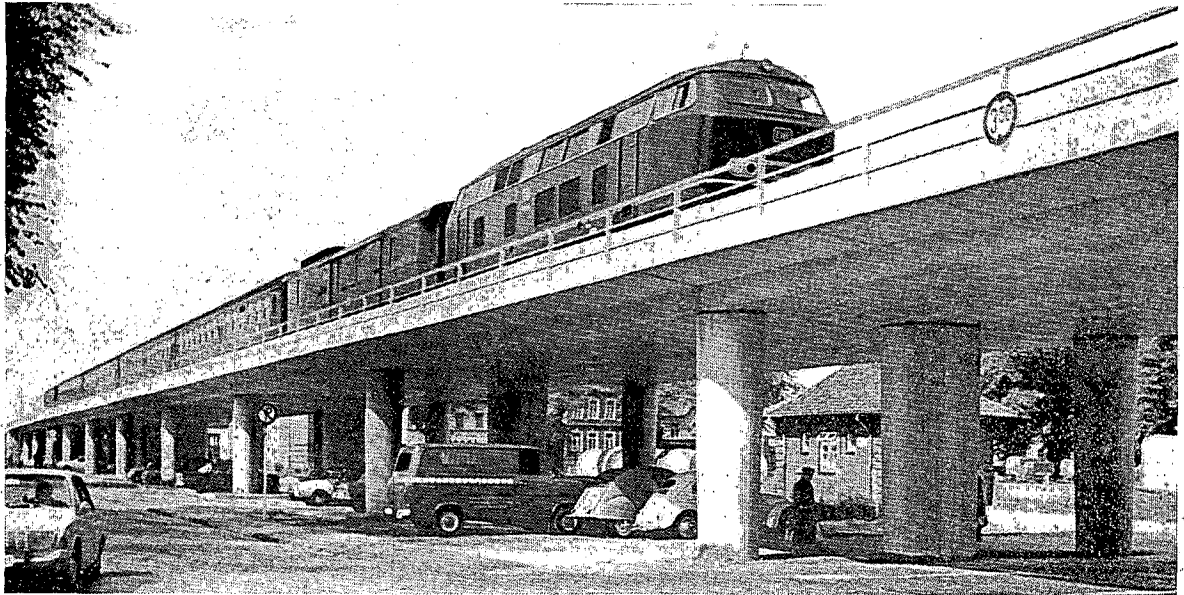
Paso superior en Trowell 18,20 + 41,50 + 18,20



Construcción del viaducto de Mossband

Luces: 33,45

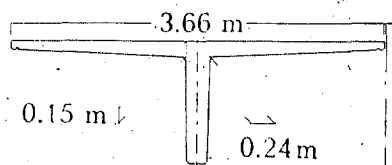
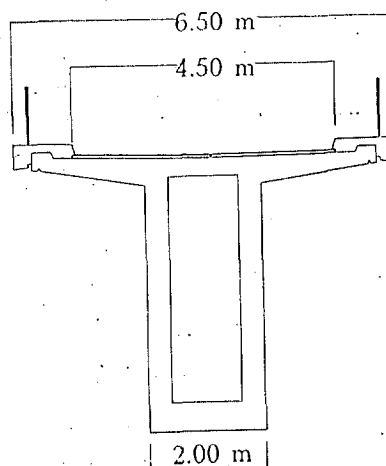
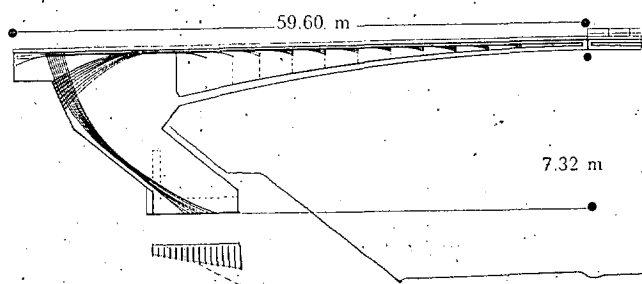
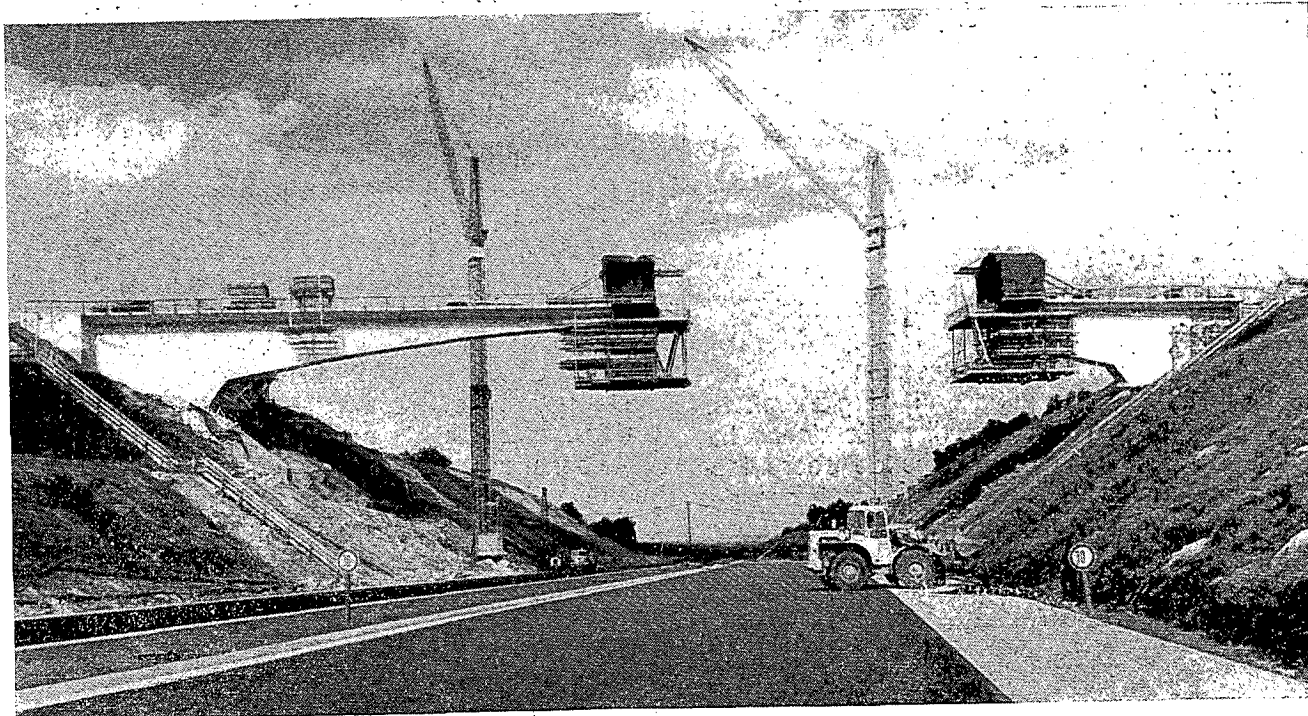
# PASO SUPERIOS DE FERROCARRIL EN OLDENBURG



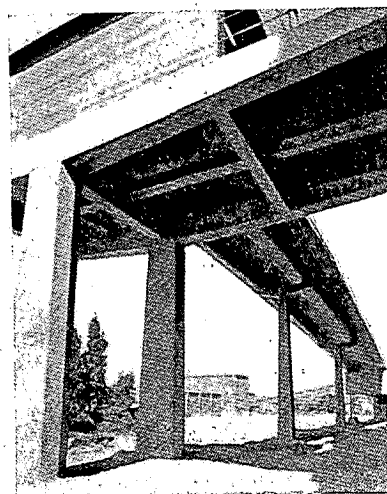
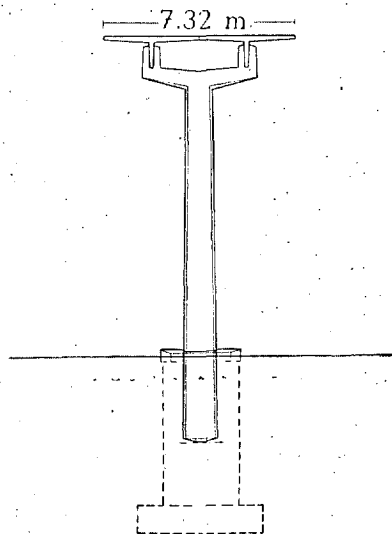
# VIADUCTOS DE HORMIGÓN LIGERO

PASO SOBRE LA AUTOPISTA WESTFALEN - LIPPE

DYWIDAG



PASARELA DE PEATONES PREFABRICADA



mento de latitud de las carreteras que pasan por debajo. Un sistema constructivo muy conveniente en estos casos es el ya utilizado por las compañías para sustituir las obras metálicas, construyendo la estructura del nuevo paso, al costado del existente, ripándolo después a su posición definitiva en pocas horas, aprovechando las de menor tráfico. Los estribos y acompañamientos se construyen con anterioridad en su sitio, causando también las mínimas molestias al tráfico ferroviario. Hasta 1 000 Tn. de peso. El ripado se hace sobre vigas metálicas transversales, verificándose el apoyo intermedio a través de bolas en los caminos de rodadura. Para cargas mayores el desplazamiento se hace por deslizamiento, disponiendo en las vigas transversales unos forros de acero inoxidable perfectamente lisos y en las bases del tramo placas de articulación deslizante de bronce especial, lubricadas con PTFE. Así, se ripó en quince minutos un tramo de 50 m. de longitud y peso de 1 500 Tn.

Los ferrocarriles de la región London-Midland han desarrollado estructuras para el paso sobre autopistas con luces centrales de 42, 57, 60 y 69 m., utilizando la continuidad en tramos hiperestáticos o isostáticos, según los casos. En este segundo caso suelen emplear la solución de tramos ménsulas clásicas o de cabalgamiento de tramo sobre ménsula, para montajes *in situ* o por prefabricados. Por ejemplo, en el puente Mossband, con ocho luces de 33 metros, alternan tramos con dos voladizos de 43 metros de longitud y tramos simples apoyados con 23 m. Aquellos se construían *in situ*, y éstos, se prefabricaban lanzando las vigas. El de mayores luces en esta serie es el de Besses O'thbarn, con vano central de 89,90 m., entre uno de 38,10 y otro de 30,00 sobre una zona minera, donde se prevén asientos importantes durante un período de treinta años, para lo cual se han articulado los pies de los apoyos intermedios con posible ajuste de altura, pero no se han construido tramos simplemente apoyados, sino que son tres tramos, aunque con el central desplazado 13,80 m. con respecto al vano de modo que apoya sobre un voladizo del tramo inmediato; y se prolonga otro tanto en el opuesto, reduciendo la longitud del tramo final.

Un paso elevado de Birmighan tiene cinco vanos de 35 m. de luz y dos extremos de 27 metros para plataforma de 19,10 m., con dintel

duplicado y cajón trapecial para cada mitad sobre pilares rectangulares de silueta trapecial invertida.

El record de luz en puentes ferroviarios corresponderá al gran puente de Nusle, que se construye en Praga, para servicio doble en tableros superpuestos, encerrando al ferrocarril doble vía en el interior del cajón que constituye el dintel, disponiendo la plataforma de la carretera con ligeros vuelos de la tapa del mismo. Tiene cinco vanos continuos de  $69,5 + 3 \times 115,5 + 69,5$  que reposan sobre dos estribos reducidos y cuatro pilas intermedias flexibles, formadas por dos diafragmas independientes en sentido transversal llegando a una altura de 37 m. Se construye en avance por voladizos sucesivos, que en un principio se pensó por dovelas prefabricadas, habiéndose adoptado definitivamente la ejecución mediante carro y moldeo *in situ*. En cada cimentación se han utilizado ocho pilotes de 2,40 m. de diámetro para aguantar 12 000 toneladas. La latitud del tablero es de 26,70 m.

El avance de carro varía desde 2 a 3,50 metros de longitud, lo que depende de los espesores variables del cajón, pues, la capacidad máxima del carro es de 200 Tn. El dintel es solidario de las pilas, pero la flexibilidad relativa de ambos elementos, hará que las flexiones que transmite el dintel a los pilares para sobrecargas desequilibradas sea muy pequeña. También resultan despreciables las flexiones por cambios de longitud del dintel, dada la gran flexibilidad de los pilares. Esto se controlará, además, mediante una instalación de auscultación con bandas extensométricas. Aunque se construye avanzando por ambos lados desde cada pila el dintel definitivo será un dintel continuo, es decir, sin articulaciones intermedias.

#### *Hormigón estructural ligero.*

En el VII boletín de la Sociedad Dywidag del pasado año se pasa revista a las realizaciones que ha llevado a cabo con hormigón ligero estructural, dando tres nuevos puentes además de la pasarela en arco de 96 m. de luz sobre el puerto fluvial de Wiesbaden Scherrslein en el Rin, que corresponde al año 1966. Son estas nuevas realizaciones una pasarela sobre el ferrocarril metropolitano de Hamburgo, con una luz

de 22,40 y latitud de 3,40 de hormigón pretensado. La resistencia característica del hormigón fue de 300 Kg./cm.<sup>2</sup>, el peso específico 1,60 Tn./m.<sup>3</sup> y el módulo de elasticidad 170 000 Kg./cm.<sup>2</sup>. Tiene 0,70 m. en sección central y se calcula una economía del 30 por 100 en carga permanente.

Otra realización se refiere a pasarelas prefabricadas con vigas en T formadas por duplicación de una T muy ligera, con espesor medio del tablero de 0,20 en 7,32 de latitud y unos pilares en T que se empotran en macizos de hormigón ejecutados en el sitio. El empleo del hormigón ligero ha permitido una economía en coste del 20 por 100 para luces hasta 23 m.

La tercer obra es un paso sobre la autopista de Münster-Bremen, con 85 m. de luz, realizado por voladizos sucesivos como la pasarela del Rin. El hormigón adquiría una resistencia de 250 Kg./cm.<sup>2</sup> a los tres días, y de 424 Kg./cm.<sup>2</sup> a los veintiocho días, con peso específico de 1,80 Tn./m.<sup>3</sup> y coeficiente de elasticidad de 212 000 Kg./cm.<sup>2</sup> a los veintiocho días. La latitud del tablero es de 6,50 y se organiza transversalmente con viga cajón de 2,00 m. de ancho y altura variable desde 1,20 a 5,80 m. (\*).

---

(\*) Queda sin tratar el tema de los puentes pretensados españoles, pero remitimos al lector al artículo que publicaremos con motivo de la Asamblea Nacional celebrada en Valencia en noviembre de este año.