

Revista de OBRAS PUBLICAS

Año CXIV

OCTUBRE 1966

Núm. 3018

LOS PUENTES DE FABRICA DURANTE EL AÑO 1965

Por CARLOS FERNANDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Este artículo, que continúa la serie dedicada a la evolución anual de los puentes de fábrica comenzada el año 1962 se ha retrasado por diversos motivos, siendo el principal, recoger la aportación del Congreso de la FIP, celebrado en París durante el mes de junio.

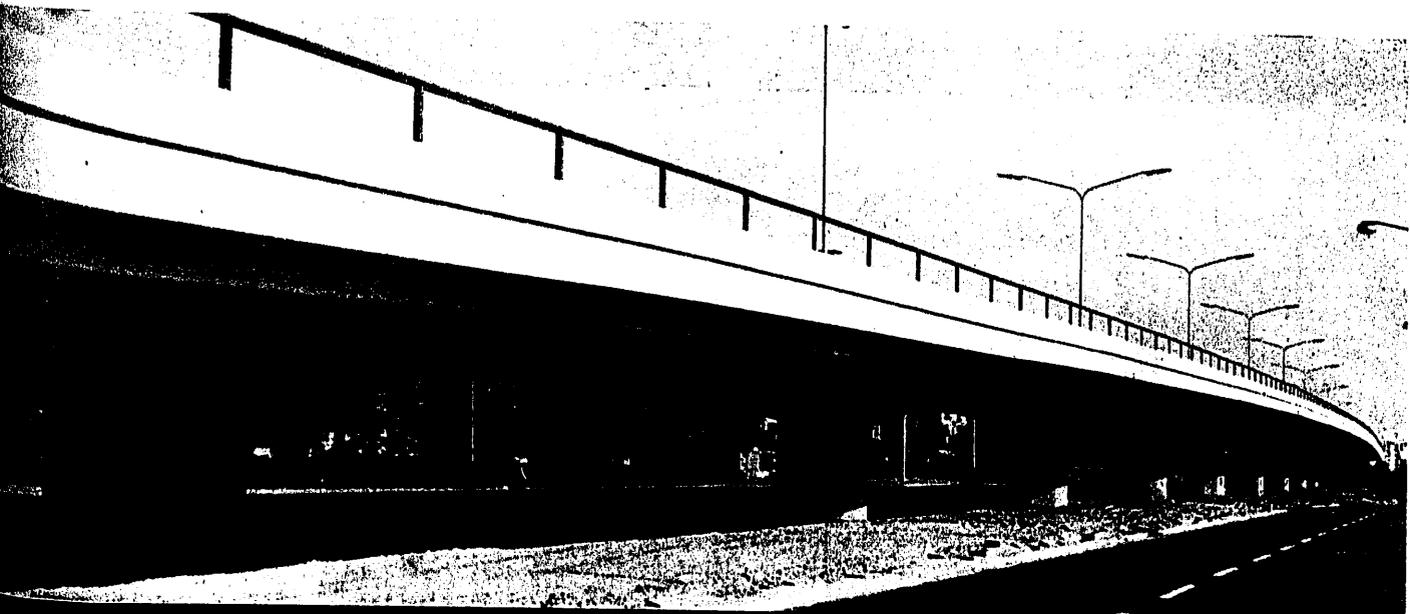
La circunstancia de celebrarse el V Congreso de la FIP en junio de este año nos ha hecho retrasar la aparición de este artículo, esperando utilizar su información sobre los puentes consumidos en los cuatro años transcurridos desde el V Congreso (Roma-Nápoles).

Ordenaremos la exposición que va a concretarse a los puentes terminados durante el pasado año en: puentes de gran luz, viaductos para cruce de vías de comunicación a distinto nivel y puentes normales.

En la construcción de puentes de gran luz impone definitivamente el procedimiento de

avance por voladizos sucesivos suprimiendo totalmente la cimbra, y reduciendo el encofrado al mínimo. El método clásico puesto a punto por Finsterwalder, resucitando las realizaciones de Baumgarten, con todas las ventajas de pasar a hormigón pretensado, es el de avanzar con encofrado colgando de un carretón *ad hoc*, para hormigonar *in situ* la dovela correspondiente. Este sistema realizado por Dywidag desde 1951 en multitud de puentes en Alemania y otros países, algunos de los cuales se han llevado a cabo en colaboración con otras firmas del país, se extendió a otras empresas, y así Courbon

Viaducto de Bremen. Luces: 30 m. Ancho: 19,00 m. Longitud total: 345 m. DYWIDAG

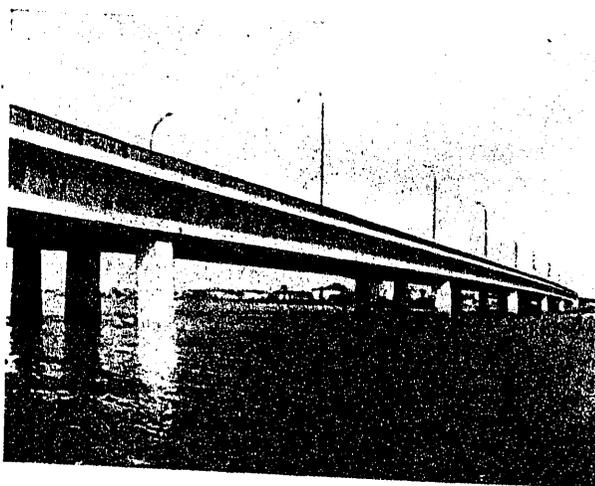
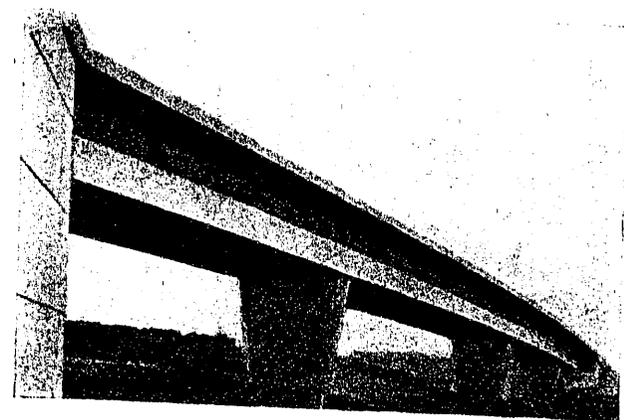


PUENTES FRANCESES DE AVANCE POR VOLADIZOS SUCESIVOS CON DOVELAS PREFABRICADAS

PUENTE DE OLERON. CAMPENON - BERNARD - FREYSSINET
Longitud total: 3.000 m. 46 vanos. Luz normal: 79 m.

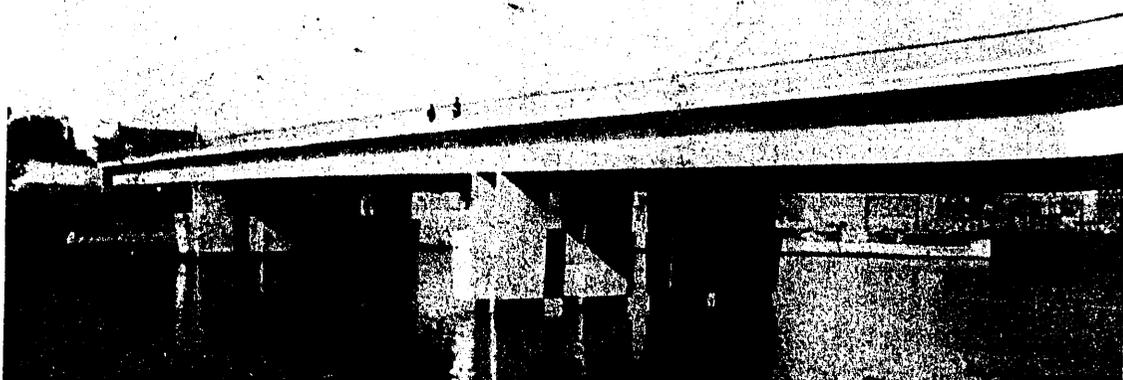


Puente de Orgeval. Autopista París - Normandía.
Luces: 25 y 42 m.



Puente de
St. Jean en
Burdeos.
Luces: 66,7
y 77 m.

Puente de
Choisy
le - Roi.
Luces: 37,50
+ 55,00
+ 37,50 m.



realizó una serie importante con S.G.T.M., el último de los cuales será viaducto de La Ligne con dos vanos de 110 m. de luz.

Utilizando el sistema Freyssinet se ha realizado en Francia una serie importante de puentes de este mismo tipo a partir de 1958, que culmina en el de Moulin du Poudre, con 82,50 m. dentro del territorio francés, ampliado fuera del país hasta el de Omonitas en Honduras y últimamente el de Nötesund, en Suecia, con 110 m. de máxima luz. En Brasil, renovando su tradición, a los treinta años del puente sobre el Peixe, el Ingeniero Marqués de Souza construye los puentes del Paraná y del Tocantins, este último récord de luz durante un corto tiempo con sus 140 m. de luz.

Una variante de este método consiste en transportar el encofrado en una torre apoyada sobre el terreno o sobre pasarela (puentes de Bettingen y de Charmes), pero se pierden las ventajas de independencia respecto al río o tráfico inferior. También se ha colgado el encofrado de una jácena metálica lanzada previamente y apoyada en las pilas inmediatas (La Woulte).

El segundo método de ejecución por voladizos sucesivos añade, a las ventajas descritas, las inherentes a la prefabricación, ejecutando previamente las dovelas en taller o sobre los accesos del puente, y transportándolas hasta su sitio para enlazarlas mediante las unidades pretensadas al voladizo en avance. Generalmente, se construye una primera parte *in situ* con andamiaje sustentado en la pila o en su cimentación y las dovelas van llegando o por flotación, que es lo perfecto cuando se trata de río con agua, por carretones a lo largo de la obra construida mediante blondín. Este último limita el peso de la dovela a unas 10 toneladas, con carro que llega a 20 y 30, y por flotación se ha conseguido 160 en Kranoholmsky, récord que se ha obtenido recientemente en Oosterchelde, cuya dovela sobre pilas es de 600 toneladas. Los pesos medios oscilan alrededor de 40 toneladas.

Las primeras aplicaciones, como acabamos de indicar, son las de los ingenieros rusos. Nosotros proyectamos en 1958, para un concurso internacional de puentes en Cuba, una solución que aunque ganó el concurso correspondiente al mejor proyecto no fue construida. Pero la verdadera solución de estos puentes ha sido en el reciente Congreso, pues han tenido gran desarrollo en los últimos cuatro años, siendo uno de los pun-

tos más salientes del Congreso de París las realizaciones habidas en este sector. Los franceses, y particularmente la Empresa Campenon Bernard, han realizado una serie que empieza con Chosy le Roi y culmina en Oleron, con tándose además el de San Juan, en Burdeos, y Pierre Benite en el Ródano.

Los ingleses han construido el puente de Taf-Fawr, también elevando dovelas, y en Méjico se ha construido el de San Nicolás, proyectado por Saemag con vano de 40 metros.

Nosotros hemos puesto a punto el procedimiento en el puente de Almodovar, construyendo las ménsulas del tramo central de 70 m. de luz. Actualmente construimos el de Castejón sobre el Ebro, con 100 m. de luz en dos voladizos de 50 m. en tramo principal, y van a empezarse otros con luces de 80, 70 y 56 metros.

En el tema de los viaductos de cruce de vías de circulación el desarrollo ha sido extraordinario en el lapso de tiempo entre Congresos. El objetivo está en llegar a soluciones de máxima diafanidad, es decir, altura estricta en dintel y dimensiones mínimas en apoyos. El hormigón pretensado ha sido decisivo en la aspiración hacia ambas metas, permitiendo reducir al mínimo los dinteles a la vez que darles aptitud para resistir flexiones transversales importantes.

En la gama normal de las luces que corresponden a pasos sobre carreteras o ferrocarriles, la solución de losa alcanza todo los casos de cruce perpendicular e incluso pueden cubrirse los pasos oblicuos utilizando soluciones que obliguen al dintel a flectar en dirección perpendicular a los apoyos. Cuando se trata de cruce sobre autopistas o playas de vías, la losa sigue siendo posible desarrollando el dintel en continuidad con apoyos intermedios en mediana y, además, en puntos intermedios si se trata de varias vías por incluir las de entrada y salida en el caso de cruce con intercambio de circulaciones. La solución de losa de altura constante, que es la más sencilla, puede ampliarse a losas de espesor variable pasando desde sección completa a sección aligerada, primero con alvéolos circulares y después con alvéolos rectangulares. En luces pequeñas el hormigón armado puede competir con el pretensado, pues reducir el espesor por bajo de 50 cm. no tiene interés alguno si hay aligeramiento, y resulta un espesor mínimo desde el punto de vista constructivo.

En la mayor parte de los casos el cruce será oblicuo, exceptuándose los pasos de carrete-

PUENTE DE ELZTAL EN EL VALLE DE EIFEL (ALEMANIA)

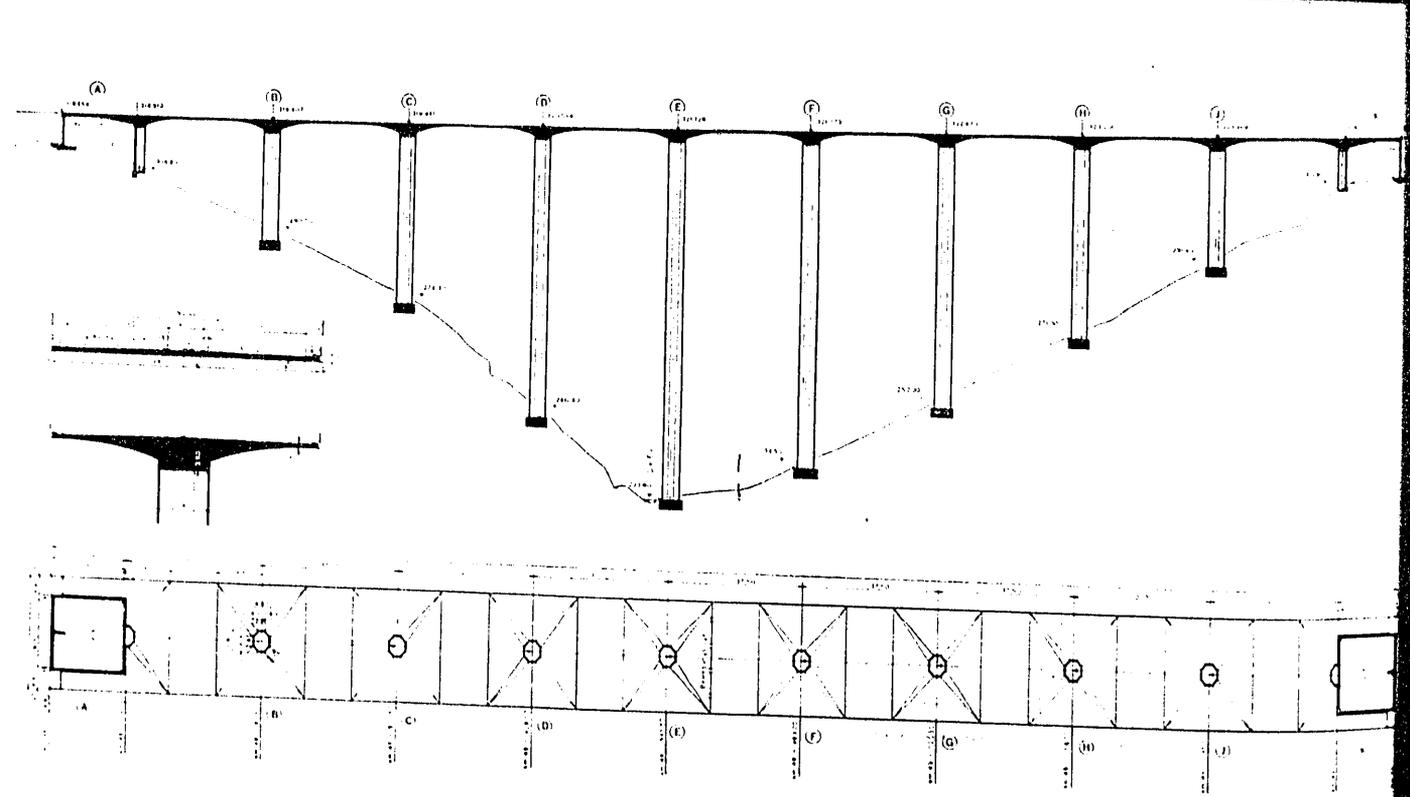
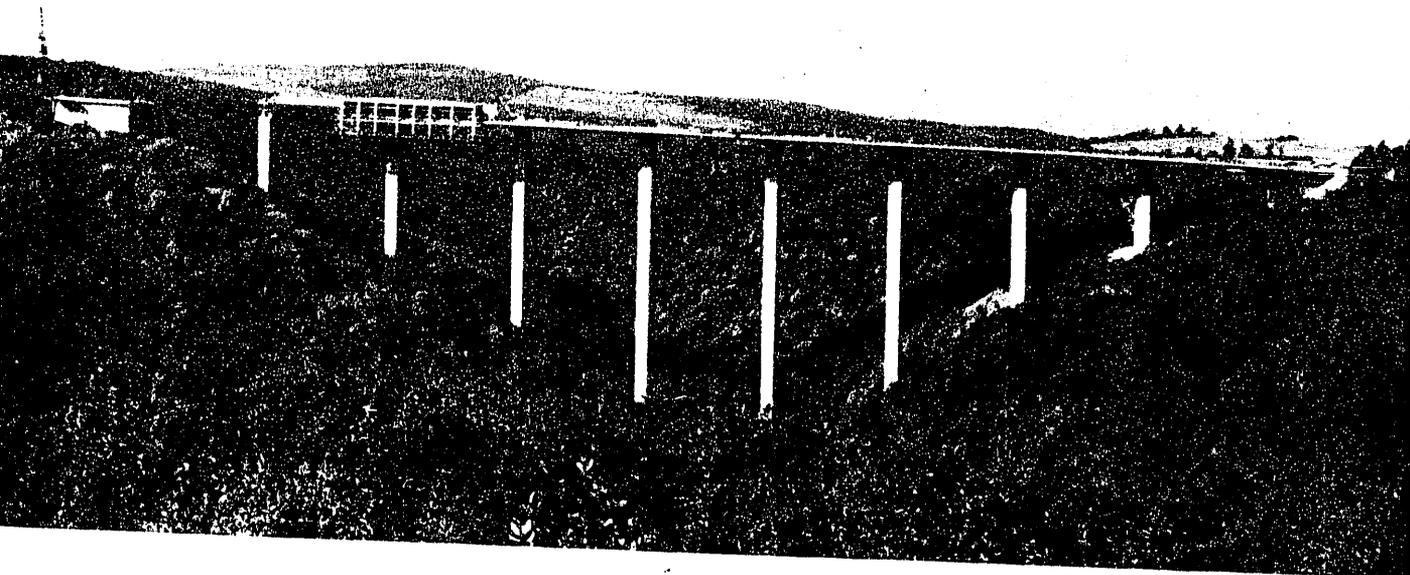
LONGITUD TOTAL: 379,30 m.

LUCES: 9 x 37,50

ANCHO: 32 m.

ALTURA MAXIMA: 97 m.

DYWIDAG



secundarias cuyas alineaciones de cruce pueden forzarse a la perpendicularidad con la principal. Pero además, la mayoría de las veces tendrán rasantes inclinadas y muchas veces alineaciones en curva con el correspondiente peralte transversal. Esto lleva al máximo en los distribuidores de tráfico entre autopistas, o los de llegada a poblaciones importantes, donde se encuentran las vías principales y las de intercambio en cruces a varios niveles y enlaces curvos con pendientes y curvaturas pronunciadas. La claridad del trazado y la diafanidad de las soluciones estructurales pueden dar una gran elegancia a estas soluciones urbanas, o acumular elementos de perturbación en el horizonte de la ciudad.

Este tema del viaducto urbano es uno de los más interesantes en la morfología de los puentes y, además, ha influido en la visión que se tiene de los mismos, dando un nuevo criterio para el proyecto no sólo en este caso particular sino en todos los casos de puentes afinados. Al quedar los puentes expuestos a las miradas y críticas desde todos los puntos de vista y tener que penetrarlos materialmente al pasar por debajo, cosa que no ocurría antes salvo excepciones de ríos navegables (ya que los pasos de ferrocarril no cuentan) es preciso tratar el tema de un modo más completo y cuidar de la corporeidad del puente de un modo total.

Otro tipo de puente que han aportado las autopistas es el viaducto de gran altura, que tiene su antecedente en los viaductos de ferrocarril, consecuencia en ambos casos de la falta de adaptabilidad del trazado al terreno. Así como en éstos la solución clásica era los arcos de medio punto sobre pilas de gran fuste y anchura, ahora se tiene el tablero recto sobre pilas esbeltas más estrechas que el tablero.

También se ha llegado a estos viaductos de gran altura en las soluciones de restauración de vías de comunicación inundadas por un embalse. La única diferencia está en la anchura del tablero, pues en estos casos generalmente se trata de carreteras normales.

En los viaductos alemanes el más interesante es el de Elztal, con fila única de columnas en tablero de 30 m. de anchura a distancia de 37,50 metros, llegando a alturas de 97,50 con sección octogonal inscrita en $5,80 \times 4,80$ m.². Se empleó un andamio apoyado directamente sobre las pilas para construir en tramos de longitud igual al vano pero avanzando el cuarto de la luz en el vano siguiente. El conjunto de 379,30 m. de

longitud tiene dintel solidario de las columnas con una sola junta de dilatación, pues las demás juntas de construcción desaparecerían en continuidad de pretensado.

Este viaducto con fila única de columnas que se ensanchan formando capitel desarrollado para abarcar anchuras normales de autopista (alrededor de 30 m.), es final de una serie que empieza en Ludwigshafen con cuatro ménsulas diagonales irradiando de columnas circulares de 5,60 metros de diámetro, se perfecciona en Stadfeldamm, donde las ménsulas se absorben en recrecimiento de losa y llegan a solución definitiva en Bremen, con luces de 30 m. y columnas de 270 de diámetro. Un ejemplar de esta serie es el puente de Arlon en Bélgica.

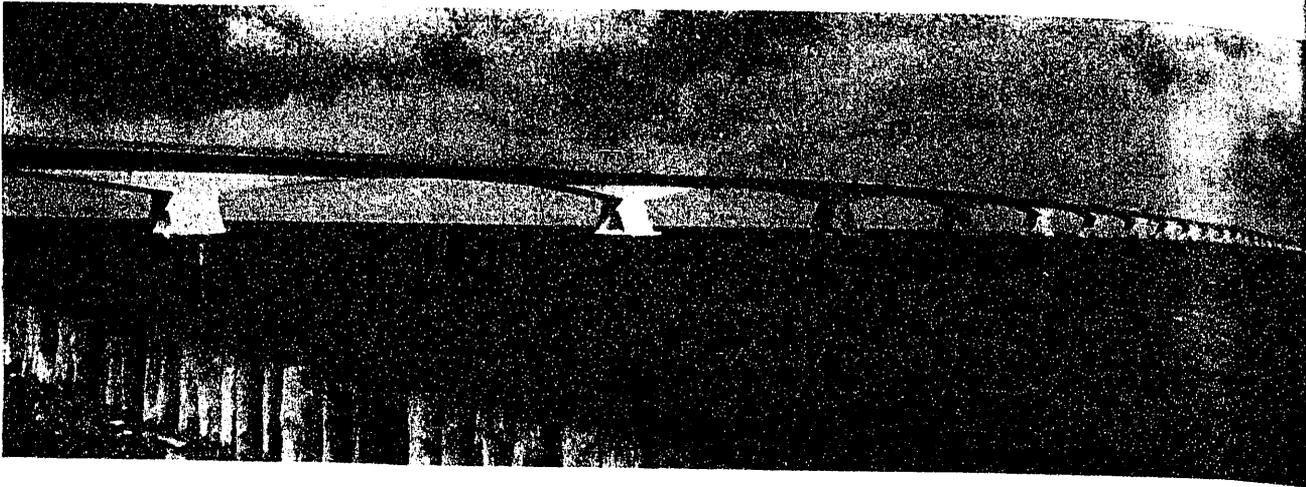
Otra solución interesante en viaductos es el de la calle de Levertusen, en Colonia, con dos filas de columnas a 17,00 m. y luces desde 23,55 a 40,52, con una longitud total de 929,50 metros y anchura de 33,50.

Viaducto de grandes luces y alturas es el Siegtal, con 12 vanos desde 64,00 a 105,00 y alturas hasta 100 m. La anchura es de 30,50, pero se divide en dos mitades cada una con un cajón de altura constante y espesores variables sobre pilas alveolares con fuste en planos longitudinales de 40 : 1.

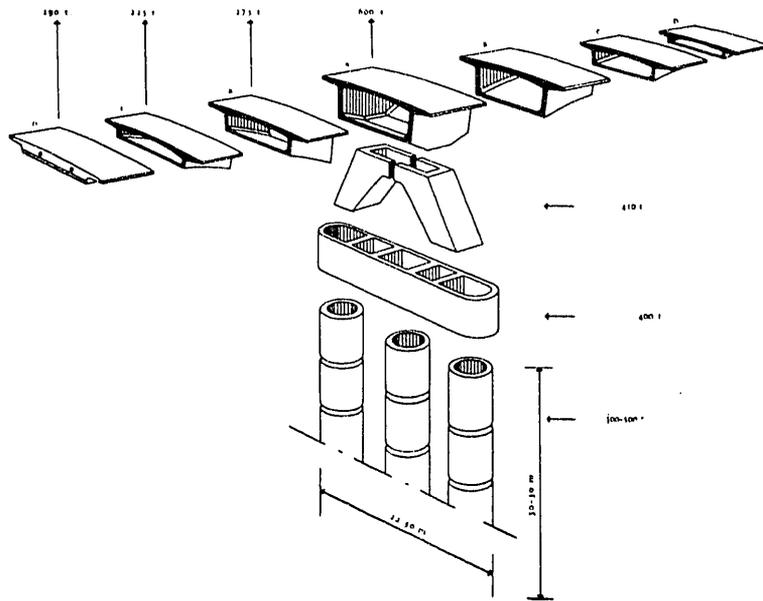
Los japoneses tienen una serie de puentes de gran longitud y grandes luces, construidos por avances sucesivos, sistema Dywidag. Recientemente, terminaron el de Amakusa, con luces de: $32 + 3 \times 146 + 40$ m. y anchura de 6,50 metros.

En los puentes franceses el más importante de los construidos es el de Oleron, en pleno mar, uniendo esta isla con el continente, para una calzada de 10,60 m. en una longitud total de unos 3 000 m., con 46 vanos, de los cuales 26 son de 79 m. de luz. La sección transversal es un cajón rectangular de anchura constante 5,50 metros prolongada en tablero superior por voladizos de 2,55 y altura variando desde 2,50 a 4,50. En organización longitudinal tenemos tramos continuos en cuatro vanos con juntas a los cuartos de la luz, apoyándose en dos puntos sobre cada una de las pilas que son rectangulares de $5,60 \times 3,00$ en sección alveolar, cimentadas sobre pilotes con alturas hasta 25,00 m. El dintel se construyó por dovelas prefabricadas avanzando en voladizo con longitudes de 3,30 m. excepto la situada sobre pila, dovelas cuyo peso oscilaba desde 42 a 73 toneladas. Se transportaban por

PUENTE DEL OOSTERSCHELDE (HOLANDA)



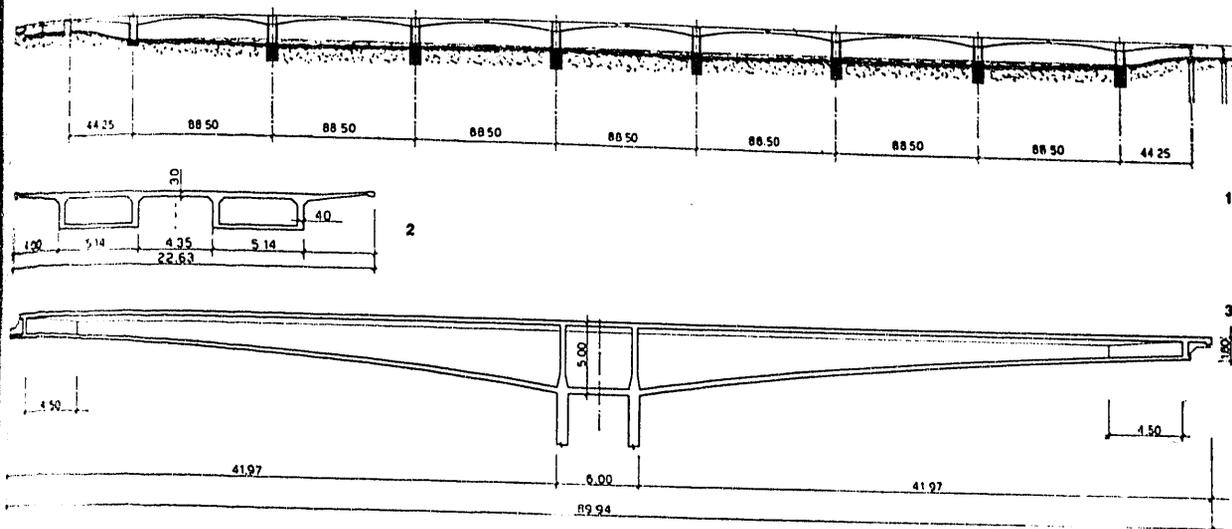
Vista general. Obra principal: 50 × 95 m.



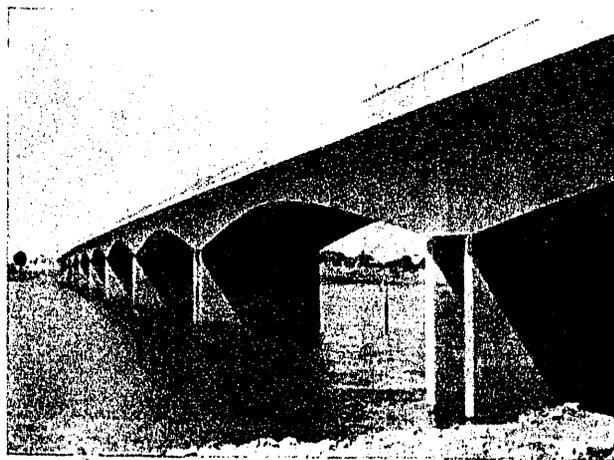
Esquema de las piezas prefabricadas

PUENTE SOBRE EL NILO EN KARTUM

PROF. A. PASSARO - FREYSSINET



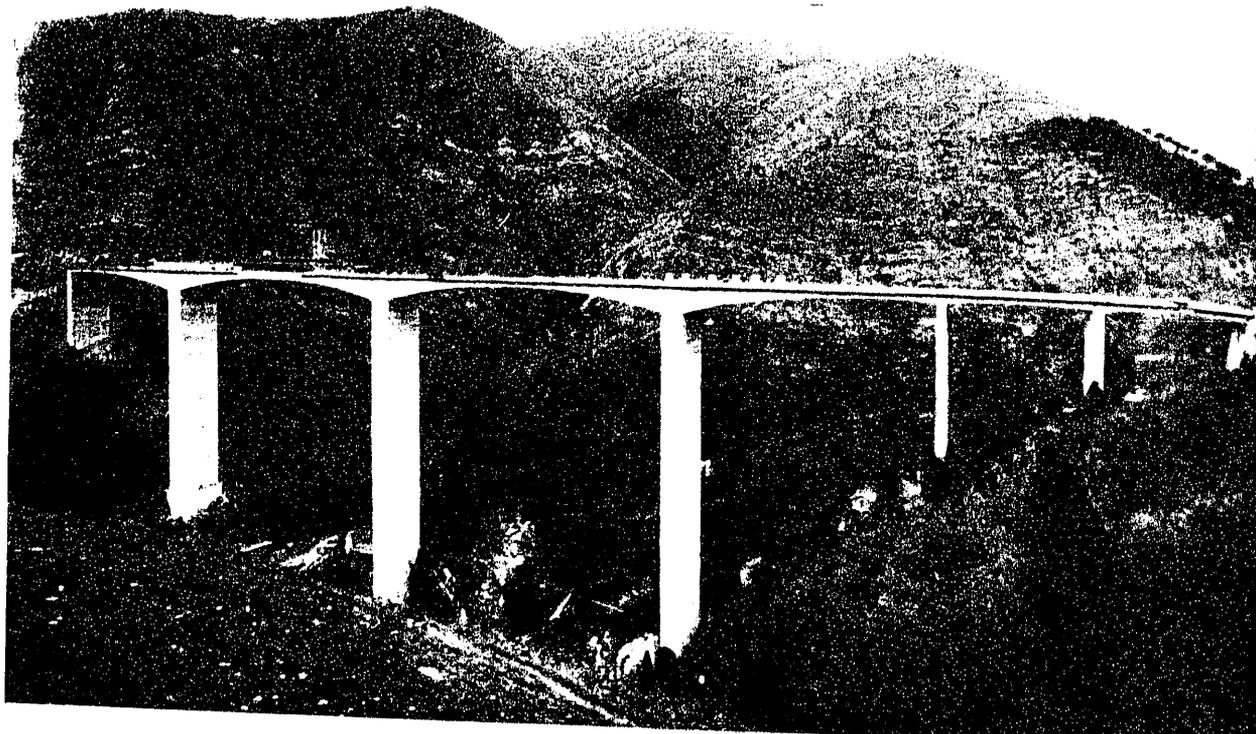
Siete vanos de 88,50 m. Anchura: 22,63 m.



VISTA GENERAL

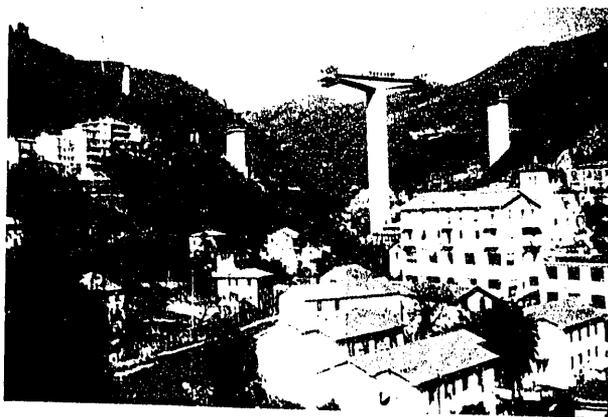
VIADUCTOS EN AUTOPISTAS ITALIANAS (GENOVA-SESTRI)

S. ZORZI - DYWIDAG



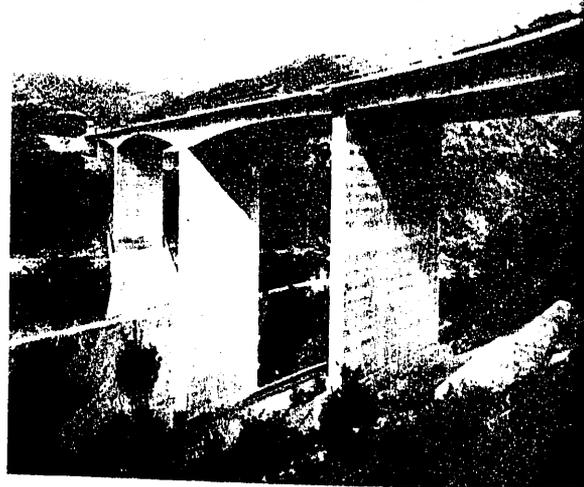
VIADUCTO SOBRE EL TORRENTE NERVI

Altura máxima: 91,50 m. Luz máxima: 100 m.



VIADUCTO SOBRE EL TORRENTE SORI

Luz máxima: 100 m. Ancho: 17,70



VIADUCTO SOBRE EL TORRENTE VELLINO

Luz máxima: 70 m.

flotación llevándolas a su posición mediante un puente metálico auxiliar que se lanzaba longitudinalmente ocupando el espacio correspondiente a dos voladizos, apoyándose sobre la pila y sobre la extremidad del voladizo anterior. Las dovelas eran izadas desde la barcaza que las transportaba hasta la altura del tablero mediante un carrerón que corría a lo largo del puente, para así colocarlas en su lugar definitivo.

Uno de los puentes más importantes construido en este período ha sido el del Escalda oriental en Holanda, pues con sus cincuenta vanos de 95 m. y los accesos suma una longitud total de 5 021,70 m. Su anchura es de 10,75 m., y se ha prefabricado totalmente en taller ocasional situado en la orilla de donde se transportaban las piezas en grandes barcasas con pesos hasta 600 toneladas. Cada pila va cimentada sobre tres pilatotes de 4,25 m. de diámetro, cilíndricos huecos rellenos después con Prepakt que se construían por secciones de 6,00 m. empalmándolos en alturas de 30 a 50 m., con peso total de 300 a 500 toneladas. Sobre estos tres elementos se colocaba un cabezal constituido por un gran cajón alveolar de una sola pieza con 400 toneladas de peso, en cuyos alvéolos se alojaban las cabezas de los pilotes formando después de rellenar huecos una verdadera zapata.

Sobre esta zapata se colocaba un pilar en ángulo, cuyas dos patas de sección cajón se llevaban independientes pesando cada una 400 toneladas. Sobre estos pilares se colocaba la primera dovela colosal del dintel con un peso de 600 toneladas, a los que se enlazaban sucesivamente otras tres por cada lado para formar los voladizos de dos vanos adyacentes. Entre dovela y dovela quedaban juntas que se rellenaban al final. Estas dovelas se manejaban desde un puente metálico auxiliar que se lanzaba longitudinalmente ocupando dos vanos, con lo cual se avanzaba desde dos pilas al mismo tiempo.

En Italia la autopista Norte Sur y sus afluentes ha dado lugar a un despliegue de obras, donde todos los ingenieros estructuralistas han tenido ocasión de mostrar su personalidad. Destacamos en el pasado año el viaducto sobre el Pessio, del Ingeniero Mario Baggio, con 26 vanos de 46,00, con fila única de apoyos cilíndricos que se amplían en capiteles cuadrados de 12×12 sobre los cuales se apoyan vigas prefabricadas que se lanzan longitudinalmente. El viaducto de Varenna, de S. Zorzi y G. Machi, con 12 vanos de luces entre 30 y 65 m. combinando tra-

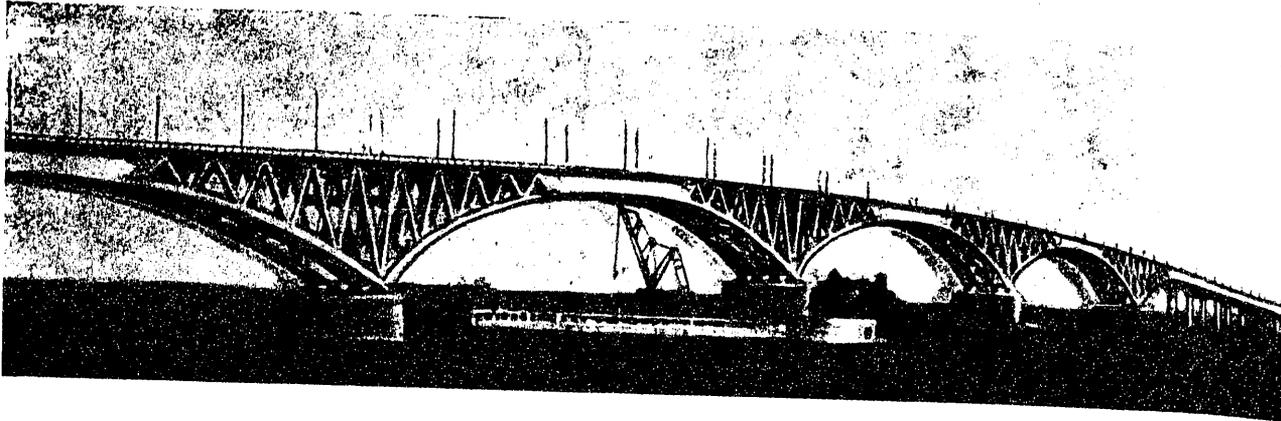
mos ménsulas, sobre pares de columnas cilíndricas. También de S. Zorzi, los viaductos del torrente Veilino, torrente Nervi y Sori construidos por voladizos sucesivos con avances de encofrado de luces máximas: 70 y 100 y alturas hasta 91,50, con pilares de sección rectangular alveolar de la misma anchura que el tablero. Otro viaducto importante en altura con doce vanos de 45 a 58 m. de luz, aunque de tramos simplemente apoyados, es el de Receo, en el cual las vigas prefabricadas se pretensaron contra encofrado en obra; por el sistema Turazza con alambres rectos y de perfil trapecial, lanzándose con puente metálico auxiliar, y enlazándose por fajas transversales de forjado de todo el ancho del tablero prefabricadas y montadas mediante el mismo puente de lanzamiento (Ing. P. Pellis).

Un puente de técnica italiana construido en Kartum, sobre el Nilo, con proyecto del profesor A. Passaro, tiene diez vanos de 88,50 m. de luz, construido por voladizos sucesivos sobre pilas en doble tabique. El dintel de 22,60 m. de ancho con dos vigas cajón, cuyo tablero superior se prolonga a ambos lados y en el centro. Se construyó en dos fases, primero cajones y después las losas complementarias del tablero que los enlaza.

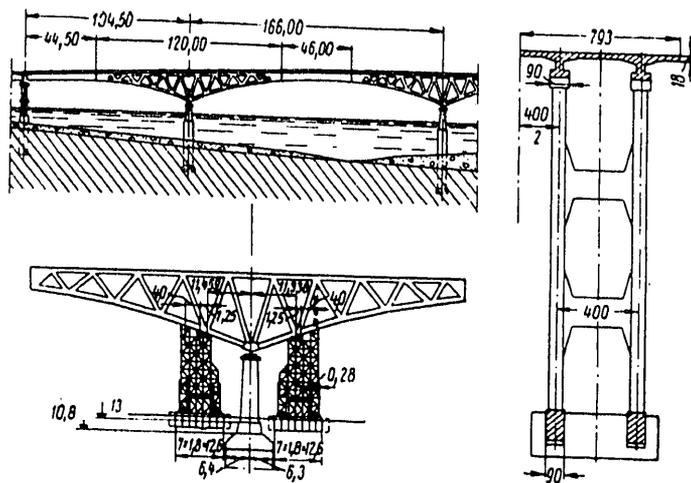
La aportación más interesante de los rusos ha sido la de los puentes pretensados en arcos con tímpanos triangulados excepto en una amplia zona central donde se solidarizan arco y tablero, formando estructura de cajón con alma llena. Así el puente del Volga con tres arcos de 166 m. de luz entre dos de 106. Se prefabricaron totalmente en dos series de elementos, las zonas trianguladas por pares de ménsulas con 120 m. de longitud en simetría con respecto al apoyo, y las zonas centrales de alma llena como vigas cajón de 46 m., que se transportaban sobre grandes barcasas, siendo el peso máximo 800 toneladas. En vigas prefabricadas para tramos simplemente apoyados han llegado a 70 m. de luz, transportadas por flotación.

En la comunicación de la delegación yugoslava se presenta el procedimiento de construcción de puentes en arco, mediante avance por secciones colgadas de un sistema radial de cables partiendo de una torre con cimbra parcial que va montándose colgada de la extremidad de la zona construida y del siguiente cable que soporta primero la cimbra, y después el tiro de arco correspondiente. El puente más importante tiene una luz de 264 m. Los cables de sustentación

PUENTE DE HORMIGON PRETENSADO SOBRE EL VOLGA (RUSIA)

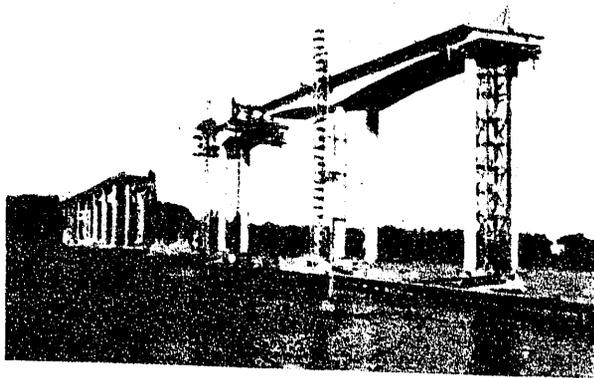


Luces: $106 + 3 \times 166 + 106$.

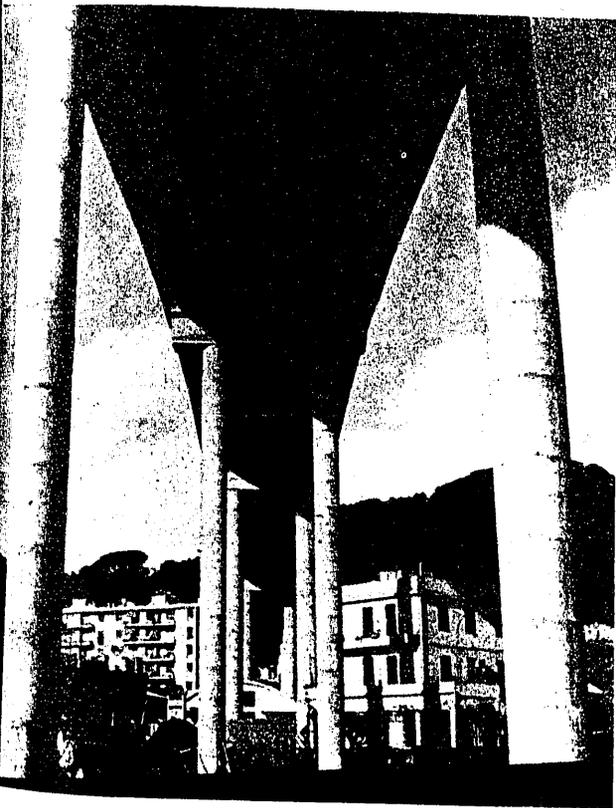


Dimensiones principales y sistema de transporte del elemento prefabricado de 116 m. de longitud.

PUENTES Y VIADUCTOS SOBRE COLUMNAS CILINDRICAS



Puente de Svendborsund (Dinamarca) DYWIDAG

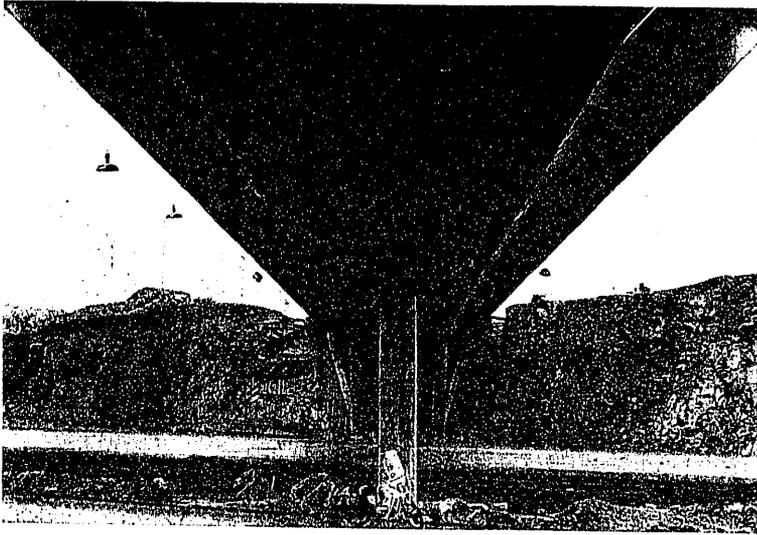


Viaducto de Varenne en la autopista Génova - Savone
12 vanos entre 30 y 65 m. S. ZORZI & G. MACHI

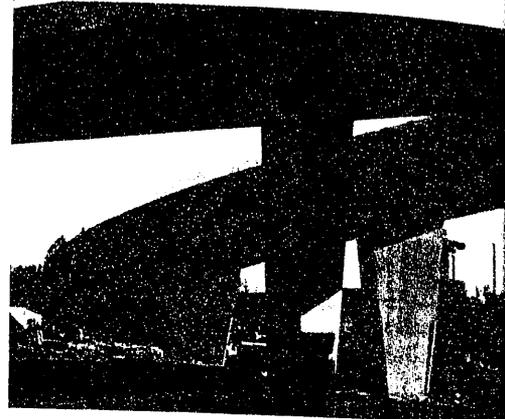


Viaducto en la autopista Ceva-Fossano. 26 vanos de 46 m.
F. M. BAGGIO.

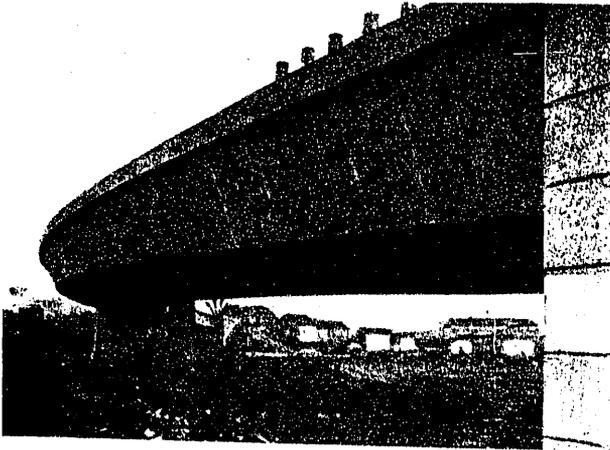
VIADUCTOS DE CRUCE DE AUTOPISTAS



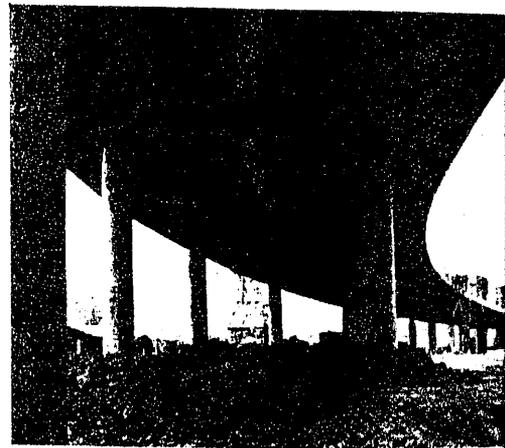
PUENTE DE HOYO DE MANZANARES
Luces: 2×30 m. Anchura: 11 m. HUARTE - DYWIDAG.



Distribuidor de la puerta de La Chapelle, P
Obras 2 y 3. Luces: 31,50 a 62,50 m.



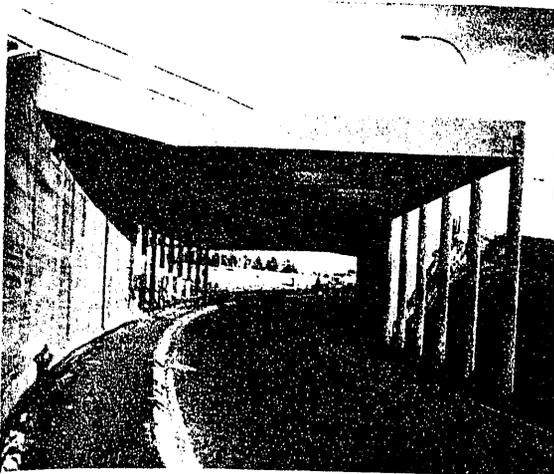
Paso superior de Romainville. LIMDUSIN - FREYSSINET
Luces: $42,50 + 72,80 + 42,50$ m.



Viaducto de Brunau en Zurich. V S L
Luces de 24 a 55 m.

PUENTES EN LA AUTOPISTA VILLALBA - MADRID

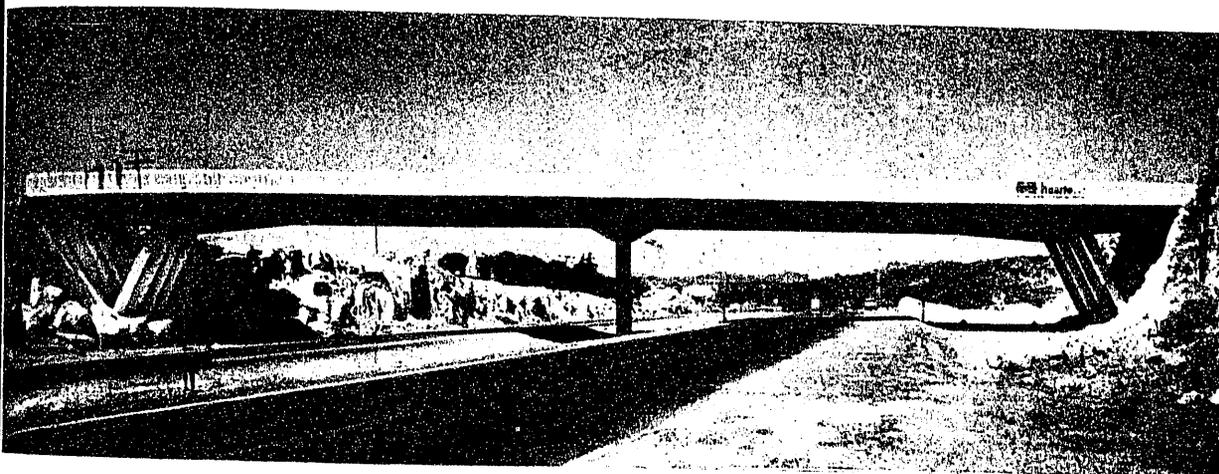
HUARTE-DYWIDAG



Viaducto de Las Rozas $7,50 - 30 - 7,50$.



Puente pérgola (desviación a El Escorial)

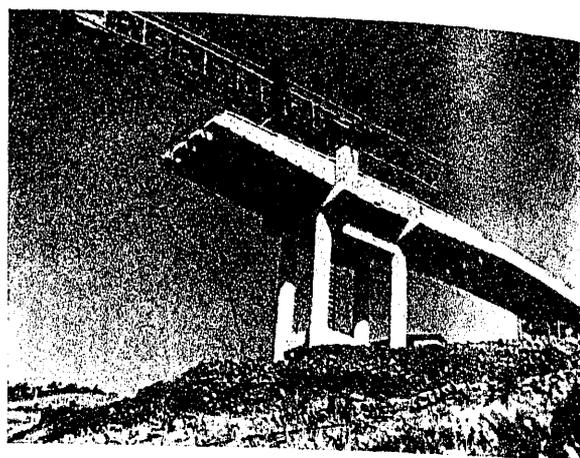
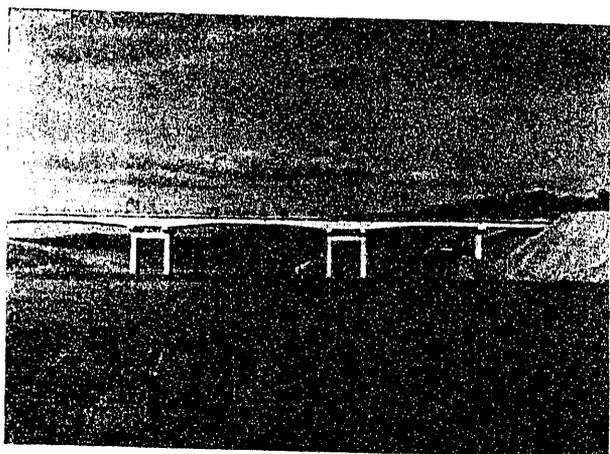


Puente de Hoyo de Manzanares. $2 \times 30,00$

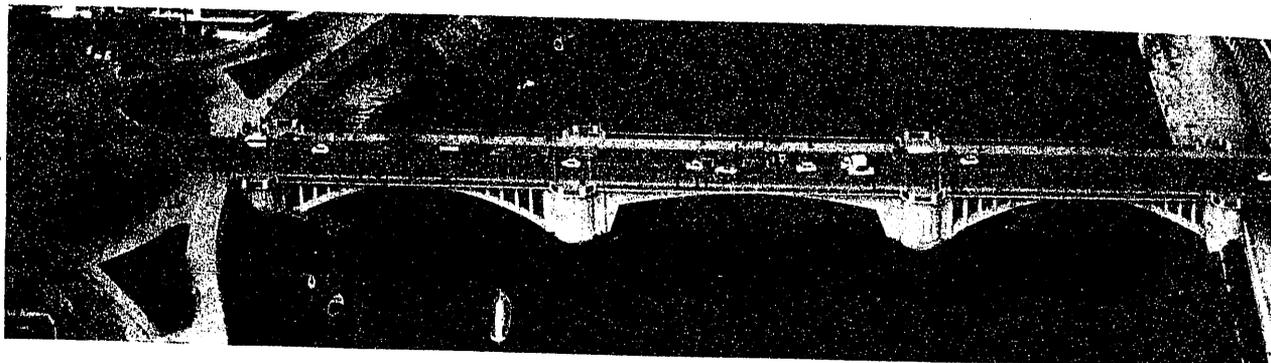


Puente de Galapagar. 48 m.

PUENTES ESPAÑOLES



Puente del Ahigal. Luces de 23,50 y 12,00 m. MARTINEZ SANTOJA - CINTEC - BARREDO



Reforma del puente de San Telmo en Sevilla. Pórtico central, luz 50 m.
PUYAL - AGROMAN

provisional en realidad son barras redondas articuladas entre sí.

Este sistema constructivo se había iniciado ya en la construcción del puente Novisad y, en particular, para la cimbra de este puente, que fue un arco provisional de hormigón armado. También han empleado un procedimiento análogo los ingleses en el puente de Taf Fechan de 70,00 metros de luz

Por parte de los checoslovacos, ha habido una comunicación especial de Klimes acerca de los puentes de hormigón pretensado para ferrocarril construidos en el mundo y, en particular, la nor-

malización de los mismos, siendo muy importante en este aspecto lo realizado por sus compatriotas. En la comunicación de su delegación nacional se expone todo lo que han realizado en la construcción de puentes por avance y voladizo mediante dovelas prefabricadas. Iniciaron las aplicaciones con un puente experimental en Praga, cerca del Laboratorio Central de Investigación de Estructuras, habiéndose desarrollado después intensamente con algunas aplicaciones notables en puentes ferroviarios.

En España, además de unos cuantos puentes de tramos rectos simplemente apoyados, se han construido varios ejemplares de estructura hiperestática, que han enriquecido el repertorio de tipos realizados.

En Sevilla se ha sustituido el tramo central metálico levadizo del puente de San Telmo por un pórtico triarticulado de 50 m. de luz, utilizando las cimentaciones del puente antiguo, organizado en dos cuchillos a 13,00 m. entre ejes construidos *in situ*, enlazados por un tablero de vigas prefabricadas. Proyecto del Ingeniero José Antonio Puyal, de la Jefatura de Puentes, construido por Ágromán. La Hidroeléctrica Española en la serie de puentes que viene realizando para restablecer las comunicaciones interceptadas por sus embalses, tiene en su haber, rompiendo la continuidad de sus tramos simples, el puente de Ahigal, con tramos ménsulas de vanos $2 + 12 + 23,50 + 23,50 + 23,50 + 12$, construido por prefabricación de elementos de 23,00 m. que abarcan las dos ménsulas y el vano corto, combinados con otros dos de 12,00 m. que corresponden a los tramos simplemente apoyados. Proyecto del Ingeniero Martínez Santonja se ha construido por Cíntec con pretensado Barredo, lanzándose las vigas prefabricadas mediante puente metálico auxiliar Barredo.

En esta serie están los pasos superiores de la autopista Madrid-Villalba, que son siete de luces, oblicuidades y condiciones constructivas diferentes. En todos ellos se ha concretado la misma idea de dintel: mínima perturbación en el

paisaje que se realiza por altura estricta en dintel, perfil transversal completamente despejado, salvo columnas circulares. La altura estricta se consigue por compensación de flexiones, mediante prolongación del dintel, sustentado en pilares que enmarcan el gálibo, hasta los vértices superiores del trapecio correspondiente al perfil transversal, unas veces en desmante de roca y otras con taludes de terraplén. En las condiciones más favorables se ha conseguido la estructura ideal, dintel sustentado en células triangulares, y así son los de Galapagar, con luz de 48.; Villalba, con 50; Navacerrada, con 41, y Hoyo de Manzanares, con dos tramos de 30. En este último no hemos juzgado económico salvar la luz de 60 m. de un sólo vano y hemos introducido una columna central conservando los triángulos en extremidades. En los dos pasos en serie de La Navata, con luces de 25 y 27 m. y rasantes muy forzadas, hemos soportado el dintel con pilares inclinados adaptados a las condiciones naturales del terreno. Por último, el paso de Las Rozas es un simple tramo compensado sobre pilares verticales, pues las condiciones constructivas exigían la ejecución en dos mitades.

Las pendientes longitudinales llegan al 7 por 100, las transversales al 6,5 por 100 y las oblicuidades son de 30 y 45°. Condiciones tan diferentes no han permitido la normalización constructiva que exige la prefabricación y sólo se han ejecutado por este procedimiento las columnas cilíndricas inclinadas que son de 60 cm. de diámetro.