Los puentes de enlace Marqués de Torroja a la Avda. de la Paz y el paso superior de Vilaseca.

José A. Torroja Cavanillas
Rafael Chueca Edo
José María de Villar Luengo

Los puentes que voy a presentarles en primer lugar, pertenecen a la Autopista M–30 y son los correspondientes al enlace Marqués de Torroja, denominado así por su proximidad al Instituto Eduardo Torroja y en memoria a su fundador D. Eduardo Torroja.

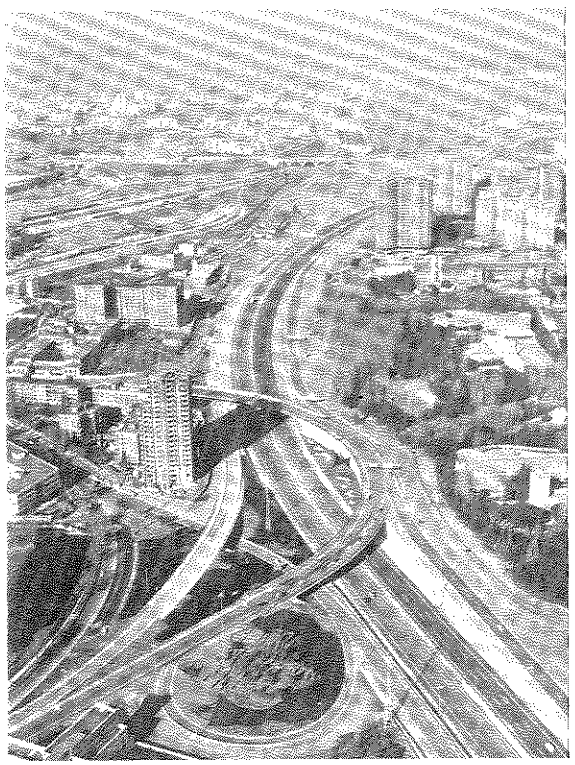


Foto 1. Vista aérea.

Su función es permitir el paso de la Avenida de Pio XII sobre la Autopista. En esta zona la Avenida de Pio XII, tiene una planta casi circular y la Autopista la corta como una secante. Tras el primer cruce recibe un ramal que discurre por el lado este de la Autopista y vuelve a cruzarla para permitir el acceso hacia la estación de Chamartín. El doble cruce sobre la Autopista se ha resuelto con dos puentes de planta curva realizados en hormigón pretensado. El enlace se completa con el ramal que permite la incorporación del tráfico proviniente de Alcobendas a la avenida de Pio XII. Este ramal pasa por encima de una incorporación lateral a la Autopista que ha obligado a la realización de un nuevo puente de menores dimensiones que los anteriores y construído en hormigón armado.

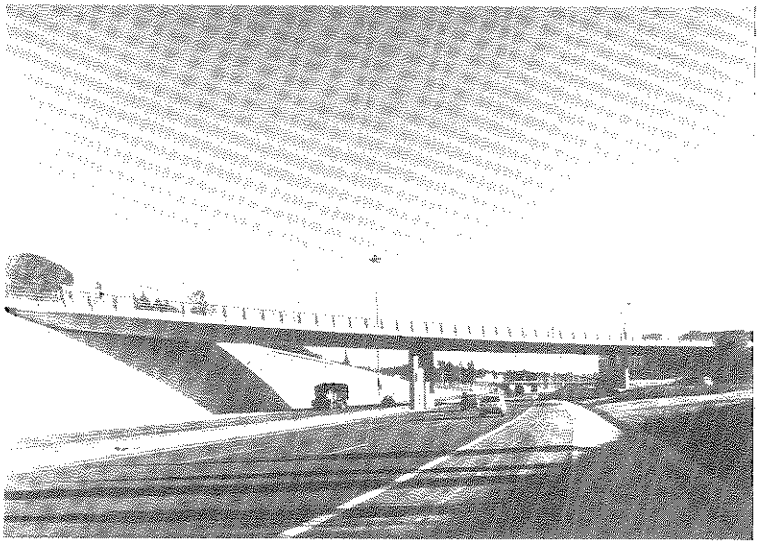


Foto 2. Alzado puente sur.

Los estudios de soluciones y anteproyectos de las mismas se iniciaron en los primeros meses del año 1973, si bien los trabajos más intensos del proyecto definitivo se desarrollan en el primer trimestre de 1975. La obra fue inagurada en Diciembre de 1976.

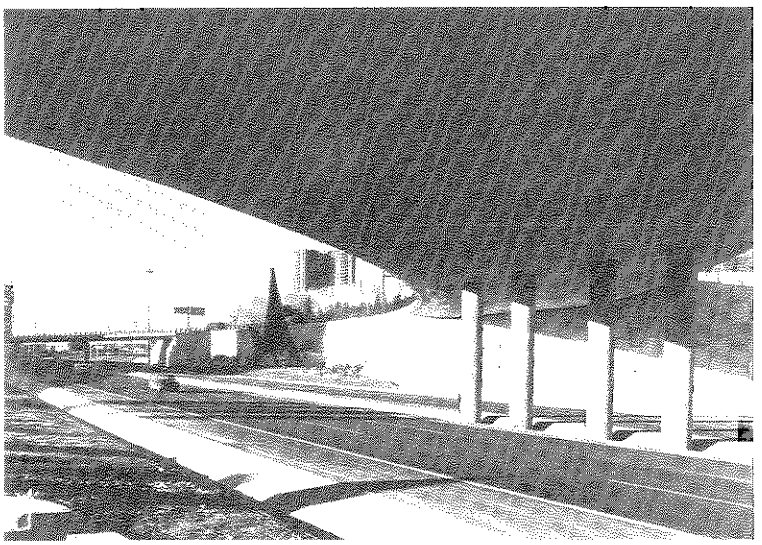
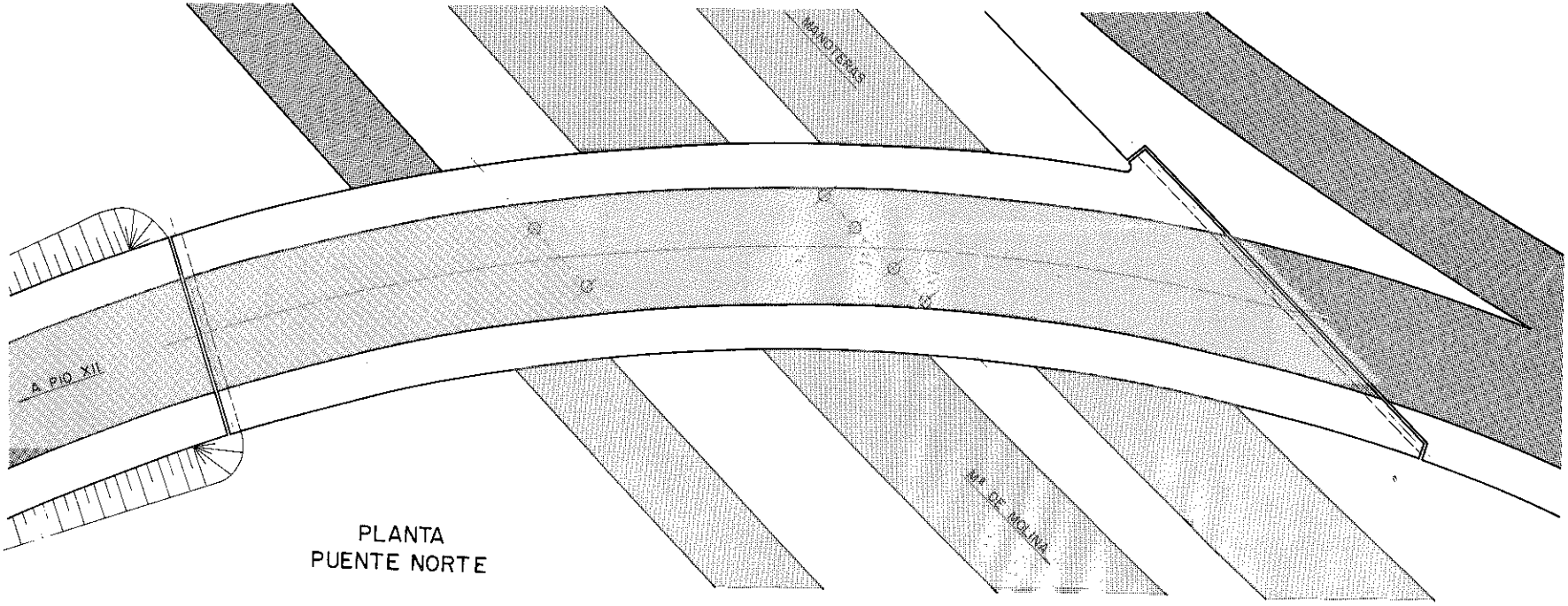
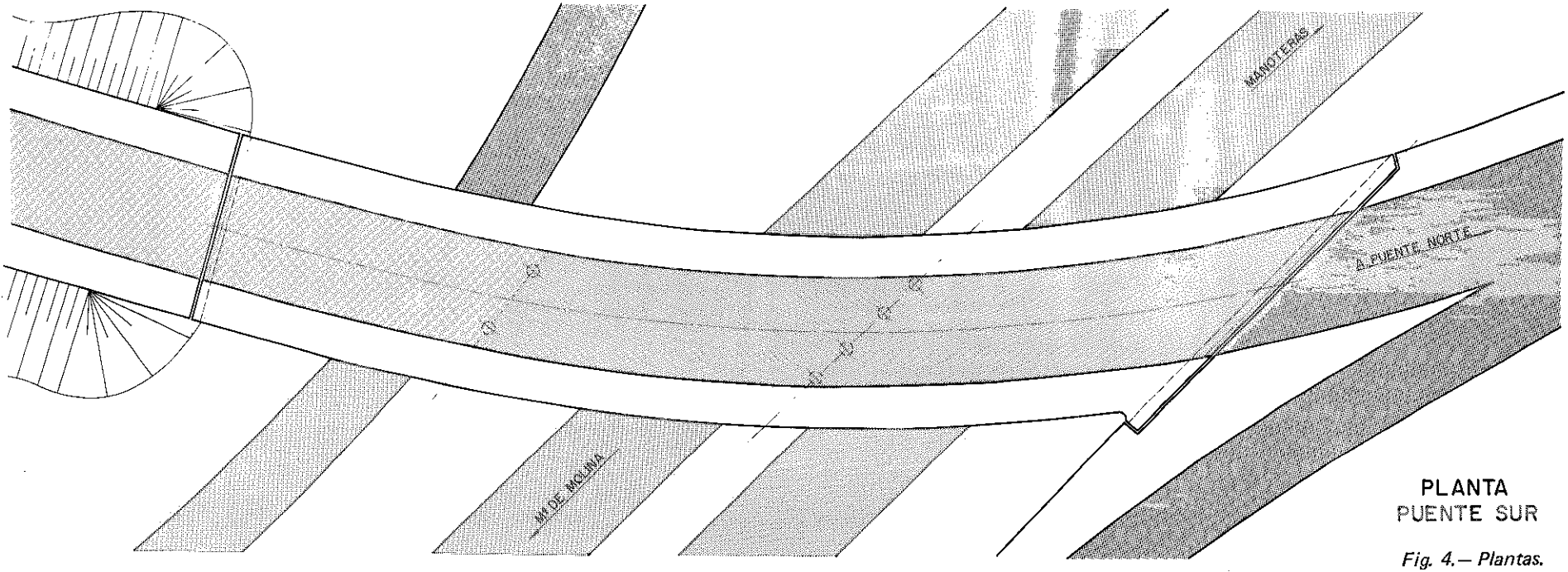


Foto 3. Vista inferior.



PLANTA
PUENTE NORTE



PLANTA
PUENTE SUR

Fig. 4.— Plantas.

El carácter urbano de la Autopista ha sido el condicionante fundamental a la hora de plantear la solución, no hay que olvidar que se integra en la ciudad pasando a constituir un elemento más de su entorno ambiental, y que por otra parte es necesario proporcionar una elevada seguridad a circulaciones de alta velocidad, lo que exige que las estructuras pasen desapercibidas para el conductor causándole la mínima sorpresa y por tanto la mínima distracción. Estas dos condiciones abogan por soluciones simples y directas pero de gran armonía e integradas en el contexto urbano en el que inciden.

En el caso presente al seleccionar las formas de los diversos elementos estructurales se ha buscado unidad, sencillez formal y ligereza.

- Unidad en el tratamiento general del nudo, integrando los dos puentes sobre la Autopista con el gran muro que corre por el lado Este cuya importancia en el conjunto se hace sentir con gran peso. Para conseguirla se ha establecido una continuidad de la imposta del muro con el elemento de borde del tablero de los puentes y se ha tratado la superficie del muro con placas prefabricadas que corren sin solución de continuidad a todo lo largo del mismo incluso debajo de los puentes formando el paramento vertical de los estribos que se adapta totalmente a la forma interior del tablero.
- La sencillez formal de las estructuras es extraordinaria. El tablero está formado por una losa plana de sección en forma de góndola con una transición muy suave del espesor de la misma desde la zona central a los bordes, de forma que no acusa al exterior mas que el paramento de la imposta. Las pilas son simples cilindros verticales sobre los que apoya la losa directamente sin ningún elemento que rompa la continuidad de su superficie inferior.
- La ligereza viene proporcionada por el pequeño espesor de la losa disminuido por la forma de su sección, y por el alejamiento de los estribos del lado oeste que de estar situados más cerca podrían producir sobre el conductor un efecto de estrangulamiento dada la importancia del muro del lado opuesto.

Estructuralmente los tableros de ambos puentes son similares. Están constituídos por losas continuas aligeradas de tres vanos, con luces de:

39,4 + 34,2 + 28,7 en el puente Sur.
88,0 + 28,0 + 32,9 en el puente Norte.

La irregularidad de las luces ha sido consecuencia de la curvatura en planta de los puentes (radio mínimo 180 m) y del fuerte esviaje con que cruzan la autopista.

Tomando la referencia de ortogonal en 100^G, los ángulos de los ejes de apoyo de estribos y pilas, con el eje longitudinal del tablero varían desde 36^G en los estribos derechos a 100^G en los estribos izquierdos.

La sección transversal tiene una anchura de 18,5 m , capaz para una calzada de 7,5 m, arcén de 4,0 m, y dos andenes elevados de 3,0 m. cada uno, rematados por las impostas de borde de 0,50 m sobre las que va colocada la barandilla. La sección es de tipo GONDOLA, con un canto en el centro de 1,30 m que se reduce suavemente hasta 0,34 m en los extremos. Va aligerada mediante 9 alveólos cilíndricos de 1,0 m de diámetro y 2 de 0,80 m en los laterales donde el canto es ya menor. Las zonas de apoyo sobre pilas y estribos van macizadas formando unas traviesas de planta escalonada algo irregular motivada por las necesidades del trazado del pretensado transversal que para mayor facilidad constructiva se dispuso perpendicular a los bordes del tablero.

El pretensado longitudinal está constituído por tendones de 12T13 de 226 Mp de carga de rotura, en número variable según los vanos con un máximo de 58 en los de mayor luz y 34 en los de menor luz.

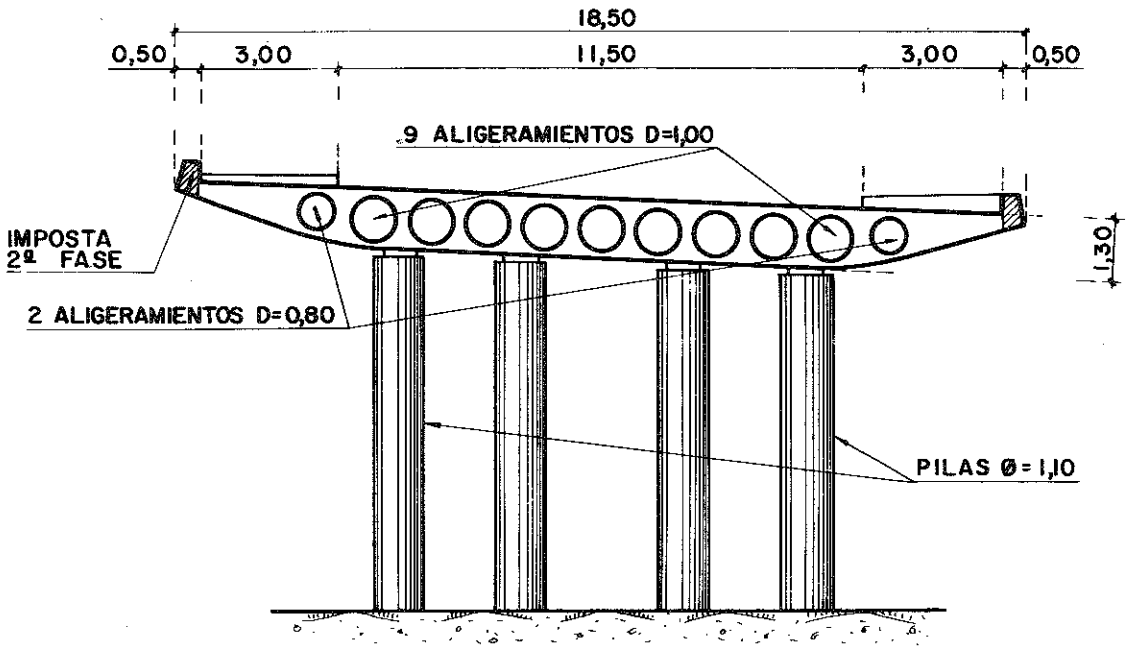


Fig. 5. Sección transversal.

El tesado se hizo por ambos extremos en la familia de tendones que cubre la longitud total del puente y solamente por un extremo en los tendones que quedan interrumpidos tras alguno de los apoyos sobre pilas.

Los primeros fueron enfilados por empuje, con lubricación en punta, sin ningún problema a pesar de su longitud y trazado. Esta lubricación produjo posteriormente una considerable disminución del rozamiento, que obligó a modificar el programa de tesado de proyecto. Los alargamientos obtenidos correspondian a un coeficiente $\mu = 0{,}07$ en el caso de considerar invariable el coeficiente de ondulación.

El pretensado transversal, existe únicamente en las traviesas sobre apoyos de pilas. Está formado por 30 y 34 tendones de $12\phi 7$, de 78 Mp de carga de rotura, tesados desde un solo extremo.

La sustentación del tablero se realiza a través de placas de neopreno. El número de aparatos es diferente en cada línea de apoyo y sus dimensiones varían incluso entre los de una misma línea de apoyo, debido a la desigualdad de reacciones originada por las características singulares de las plantas de los tableros.

Debido a estas características tan singulares de los tableros se consideró conveniente realizar el cálculo con ayuda de un modelo reducido. Para ello se realizó un predimensionamiento mediante las tablas de SCHLEICHER para losas continuas esviadas. Con estos datos, se construyó un modelo en plexiglas a escala 1:50. Se colocaron 186 bandas extensométricas (en rosetas de tres) para poder conocer las tensiones principales en 62 puntos. El modelo se construyó en el laboratorio HOOSDORF de Basilea. El ensayo se realizó sometiendo al modelo a una carga puntual vertical colocada sucesivamente en 231 posiciones. Tanto la aplicación de la carga como la lectura de las bandas extensómetricas y de las reacciones de apoyo fué controlada por un computador que registró todas las lecturas en una cinta magnética. Esta cinta fué procesada mediante el programa MODEL produciendo una matriz de datos denominada "SISTEMA O".

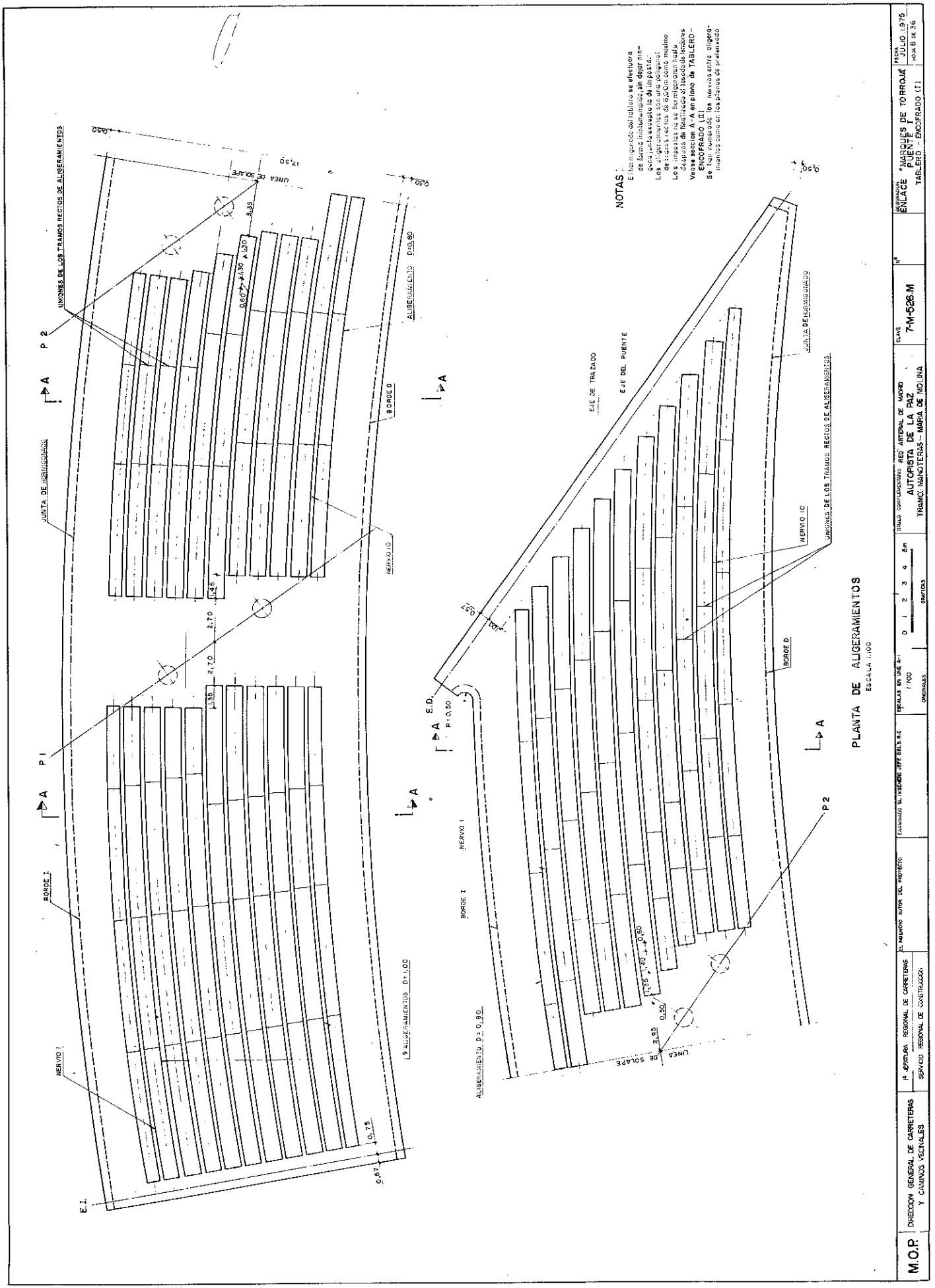
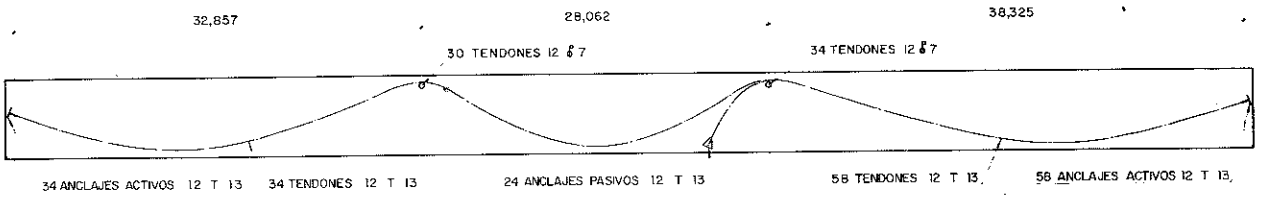
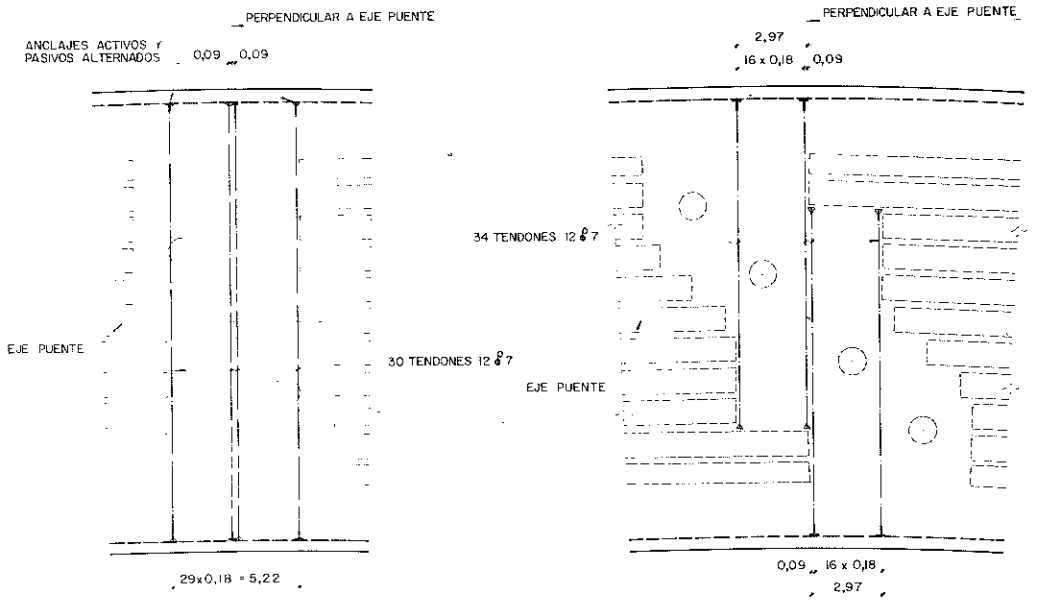


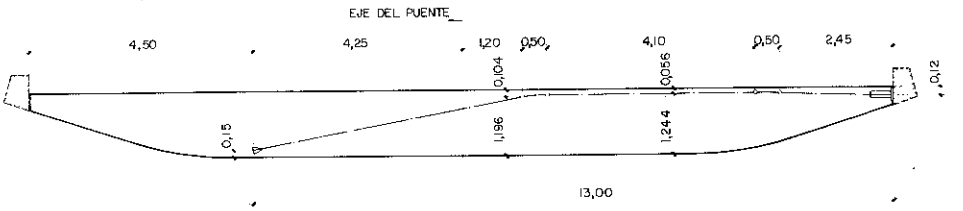
Fig. 6.— Planta aligeramientos.



ESQUEMA GENERAL DEL PRETENSADO



PLANTA DEL PRETENSADO TRANSVERSAL



SECCION DEL TABLERO

Fig. 7.– Esquemas del pretensado.

Dado que las células de medida situadas en los apoyos presentaban una cierta deformabilidad, se hizo una corrección con el computador para anular los corrimientos de los apoyos, originándose una nueva matriz denominada "SISTEMA 2".

Esta matriz, grabada en cinta magnética nos fué remitida para proseguir el cálculo mediante el programa HYBRAN en el computador de nuestra oficina; contenía los datos de las superficies de influencia de las tensiones principales y deformaciones de los puntos considerados así como de las reacciones de apoyo (todo ello para cargas verticales).

Una vez cargada la matriz "SISTEMA 2", era posible modificar el sistema estático, eliminando apoyos. Se efectuaron varias pruebas retirando algunos apoyos de la línea de cuatro, correspondientes a la pila 1, llegándose a la conclusión de que era conveniente mantenerlos todos, pues otros sistemas sobrecargaban y descargaban excesivamente alguno de ellos.

Seguidamente se definieron las pistas por las que se paseó el tren de cargas puntuales determinándose los valores extremos de las tensiones, por él producidas en cada punto. Análogamente se obtuvieron los producidos por la carga superficial, aplicada en las zonas más desfavorables. El pretensado, longitudinal y transversal, fué introducido por medio de las fuerzas de desvío, adicionando la compresión producida.

El modelo fué de gran utilidad sobre todo para el dimensionamiento de la armadura activa transversal así como para el de la armadura pasiva de los extremos del tablero y de los aparatos de apoyo.

La obra fué dirigida por el Ingeniero D. Pascual de Juan de la 1ª Jefatura Regional de Carreteras.

La Empresa Constructora fué HUARTE Y CIA.

El sistema de pretensado utilizado FREYSSINET.

Las cuantías de materiales utilizados por m^2 de tablero son:

HORMIGON: 0,77 m^3
ARMADURA ACTIVA: 25 Kg
ARMADURA PASIVA: 86 Kg.

Puente de Vilaseca

José A. Torroja Cavanillas
Rafael Chueca Edo
José María de Villar Luengo

La obra que les presento a continuación es otro puente de características urbanas. Permite el establecimiento de una vía de circulación transversal a la carretera N–340, y a distinto nivel, en el término municipal de Vilaseca en Tarragona.

Por las características del terreno y de la rasante de la CN–340, se ha escogido la solución de paso superior sobre dicha carretera, aunque ha sido preciso forzar el perfil longitudinal del nuevo ramal, adoptando un parámetro pequeño $K_v = 300$ para el acuerdo vertical convexo y admitiendo pendientes máximas del 9 por 100, valores que pueden considerarse aceptables por tratarse de una vía urbana en la que la velocidad deberá estar limitada.

La sección transversal del tablero tiene una anchura total de 12,0 m compuesta por dos carriles de 3,50 m de anchura y dos andenes elevados de 2,50 m, protegidos por barreras de seguridad, para el tráfico de peatones, que dado el carácter urbano de la obra, se prevé muy intenso.

La solución adoptada estructuralmente es la de losa pretensada continua, de tres vanos por considerarla como solución más idónea, tanto desde el punto de vista estético como funcional.

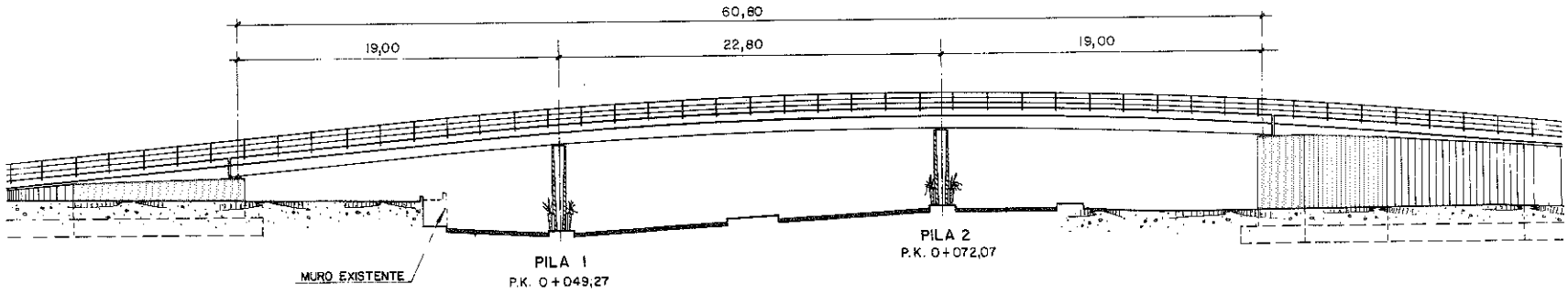
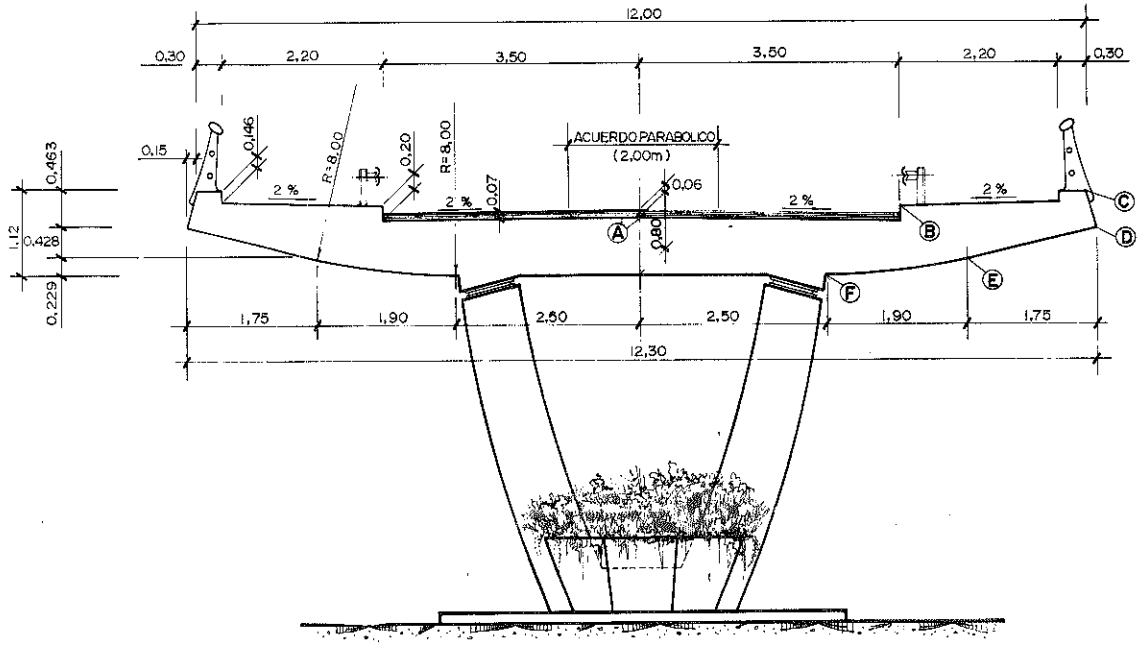


Fig. 1.—Alzado general.



SECCION

ESCALA 1:50

Fig. 2.— Sección transversal.



Fig. 3.— Vista del puente terminado.

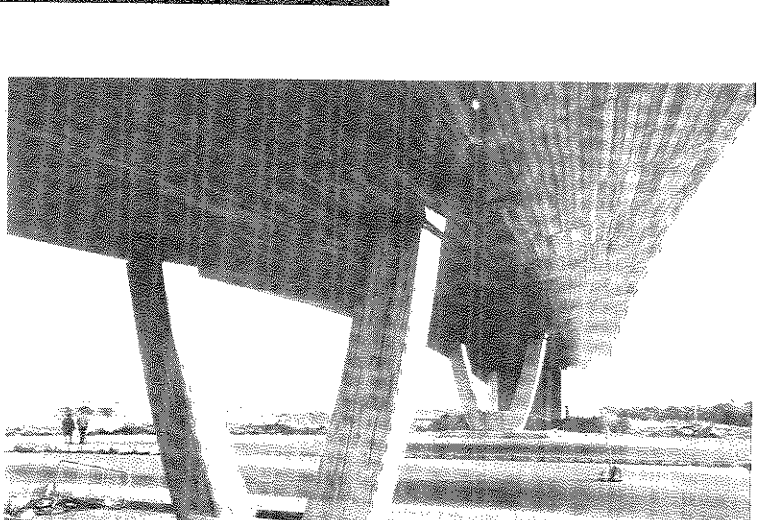


Fig. 4.— Aspecto estético de las pilas.

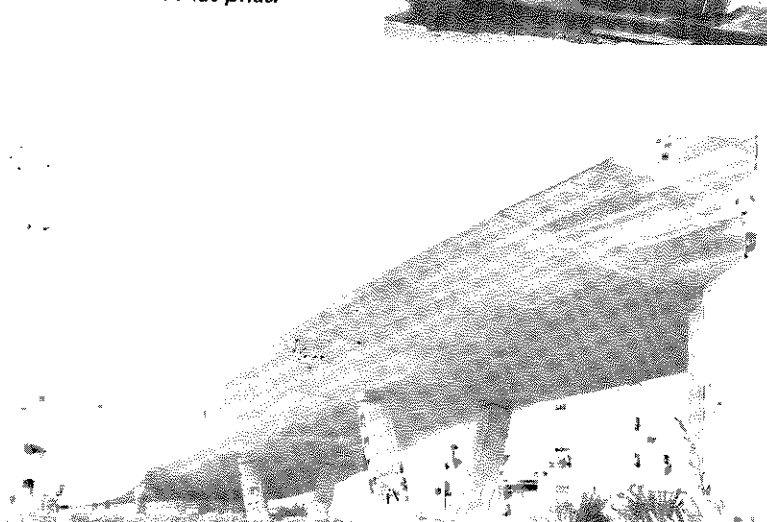


Fig. 5.— La estética de los estribos también ha sido ciudada.

Las luces de los vanos son de 19,0 – 22,80 – 19,0 m permitiendo el paso bajo el vano central de las dos calzadas desdobladas de la carretera N–340 y el establecimiento de dos vías laterales de servicios bajo los vanos extremos.

La losa es de sección constante, maciza, con un canto en el centro de 0,80 m. Longitudinalmente lleva un pretensado, de extremo a extremo, compuesto por 22 tendones de 12T13, dispuestos en una sola capa.

La sustentación se hace sobre las pilas a través de aparatos de apoyo de neopreno-teflón (libres y unidireccionales) y sobre los estribos mediante apoyos neopreno-teflón fijos en uno de ellos y placas de neopreno en el opuesto.

Las pilas, se han proyectado teniendo muy presente el cuidado estético. Se ha adoptado la forma de "U" disponiendo sobre cada uno de los brazos un aparato de apoyo. En la parte inferior se han unido ambos brazos mediante una base de hormigón con tratamiento superficial distinto al de los brazos, en cuyo centro se alberga un espacio hueco para plantas. La cimentación es directa por medio de una zapata de hormigón armado.

Los estribos se han cuidado también estéticamente, tratando su cerramiento a base de planos inclinados sucesivos entre el muro frontal, normal al puente y los muros laterales paralelos al mismo, rematados superiormente por un voladizo, de anchura variables en la zona de los planos inclinados, y de sección totalmente similar a la de la losa.

El Ingeniero Director de la Obra fué D. José María Alonso-Biarge.

La Empresa Constructora fué COLOMINA, S.A.

El Sistema de Pretensado C.T.T.

Las cuantías por m^2 de tablero:

HORMIGON: 0,72 m^2
ARMADURA ACTIVA: 16 Kg.
ARMADURA PASIVA: 50 Kg.