

# El nuevo puente de Puerta de Hierro sobre el río Manzanares, en Madrid<sup>1</sup>



II

TRAMO PRINCIPAL.

## TEORÍA DEL PUENTE

*El trazado.*—En planta, á fin de evitar exclusivamente por razones viarias, una mediana amplia curva las dos alineaciones de la carretera de La Coruña, anterior a Puerta de Hierro y Cuesta de las Perdices, en el arranque de la pendiente fuerte.

*En alzado,* es consecuencia de razones naturales y económicas, perfectamente armonizadas en la idea de lo estricto, salvando el río con la mínima altura, reduciendo los terraplenes de avenida, causando la menor alteración del régimen hidráulico, el menor obstáculo a la futura urbanización de la ribera, prescindiendo de preocupaciones estéticas y huyendo de trastornar la serenidad del ambiente; en una palabra, procurando encajar naturalmente el puente en el paisaje.

*El cauce.*—El trazado corta al cauce con una gran oblicuidad, en desarrollo de unos 150 metros, distinguiéndose dos zonas: la del río propiamente dicho, 50 metros, y los 100 metros restantes, por donde circulan las aguas únicamente en avenidas extraordinarias, y que será zona de ribera urbanizada en un porvenir muy próximo.

*El puente.*—El cauce define francamente las dos funciones a cumplir por el puente: salvar el río y dejar libre la zona de ribera, a las que responden las dos partes de la obra: tramo principal y palizada de acceso.

El puente ha de realizar la plataforma del camino que requiere el trazado, cumpliendo las dos funciones definidas por el cauce, y, además, ingenierilmente se impone la condición de que esto sea del modo más natural y económico.

Así, la plataforma se materializa en tablero de hormigón armado, que en la palizada de acceso conserva toda su simplicidad en la estructura de losa continua sobre columnas, y en el tramo principal (con apoyos necesariamente más distanciados) se refuerza con vigas longitudinales, cuyo espesor se modula para que resulte el estricto. De este modo resolvemos, con la mayor aproximación posible, la ecuación entre lo funcional y lo estructural, que debe ser norma de toda obra de ingeniería.

La luz salvada por el tramo principal es de 50 metros, definida por el cauce de avenidas normales, no habiendo sido preciso ocuparse del desagüe lineal, puesto que la palizada de acceso deja libre el ancho total para avenidas extraordinarias.

La solución adoptada ha sido tramo recto estudiado para reducir al mínimo la altura disponible, cuyas características hemos justificado en nuestra "Colección de puentes de altura estricta". El problema planteado es buscar la viga de hormigón armado de igual resistencia a la flexión; a continuación resumimos su desarrollo.

Estudiando la viga apoyada, de un solo tramo y altura constante, nos encontramos que ésta viene determinada por las condiciones de trabajo en la sección más desfavorable, que suponiendo carga uniforme es la central, resultando que sólo esta sección es aprovechada eficazmente, ya que el momento flector es máximo en el centro y nulo en los extremos.

Si por cualquier procedimiento coartamos la libertad de giro de las secciones extremas, aparecerán momentos de empotramiento de signo contrario a los existentes (momentos isostáticos), y al combinarse ambos tendremos la ley de distribución correspondiente, que habrá mejorado con relación a la del caso anterior, en que se ha reducido el momento máximo (generalmente corresponde a las secciones extremas), y, por consiguiente, la altura de la sección.

La reducción de la altura trae consigo una disminución del peso propio y, por consiguiente, de los momentos flectores, lo que a su vez reduce la altura; pero, además, si en lugar de conservar ésta constante la hacemos variar para que todas las secciones estén en idénticas condiciones de trabajo, nos encontraremos con que, en el caso general de mayores momentos en los extremos que en el centro, podremos reducir las secciones en esta zona, obteniendo, en primer lugar, una reducción notable de los momentos isostáticos, ya que reducimos el peso propio, y precisamente en el centro de la viga, y en segundo lugar un aumento de los momentos de empotramiento, como consecuencia de que la variación de los momentos de inercia es creciente del centro a los extremos.

<sup>1</sup> Véase el número anterior, página 323.

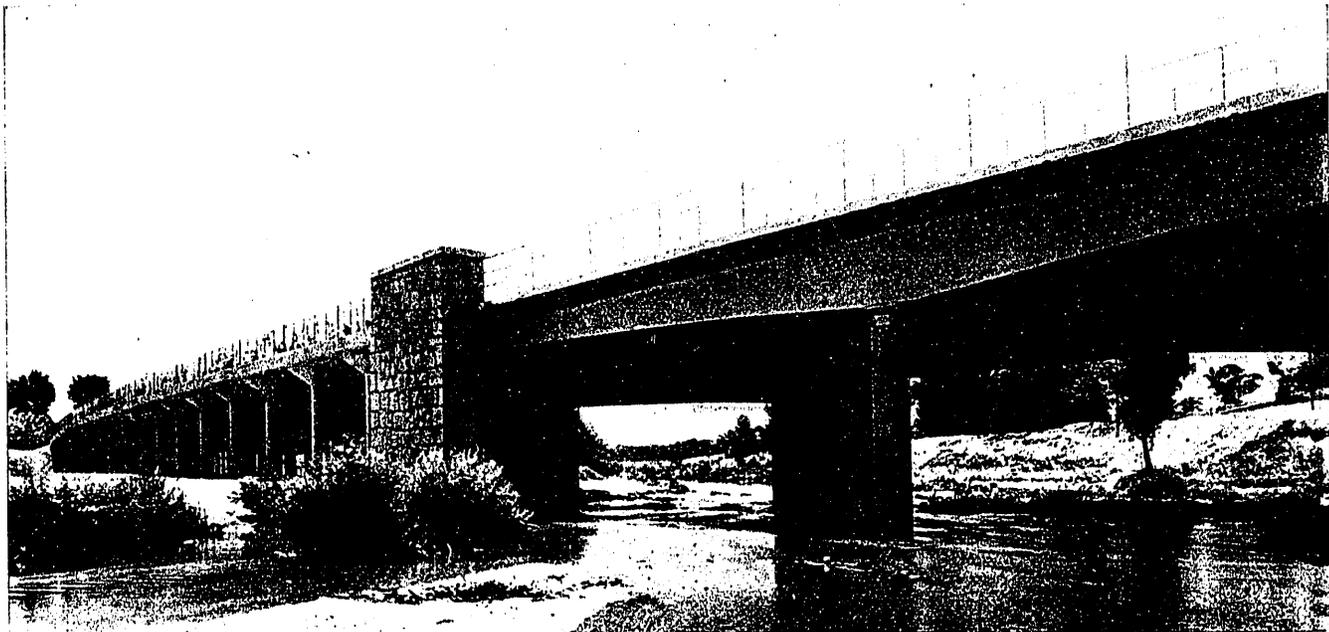


Fig. 1. Vista general del puente

Por consiguiente, la viga semiempotrada, de igual resistencia, tiene las siguientes ventajas con relación a la apoyada de altura constante:

nuir el peso propio, y precisamente en la zona central, que es donde mayor efecto produce.

2) Disminución de los momentos totales, por la

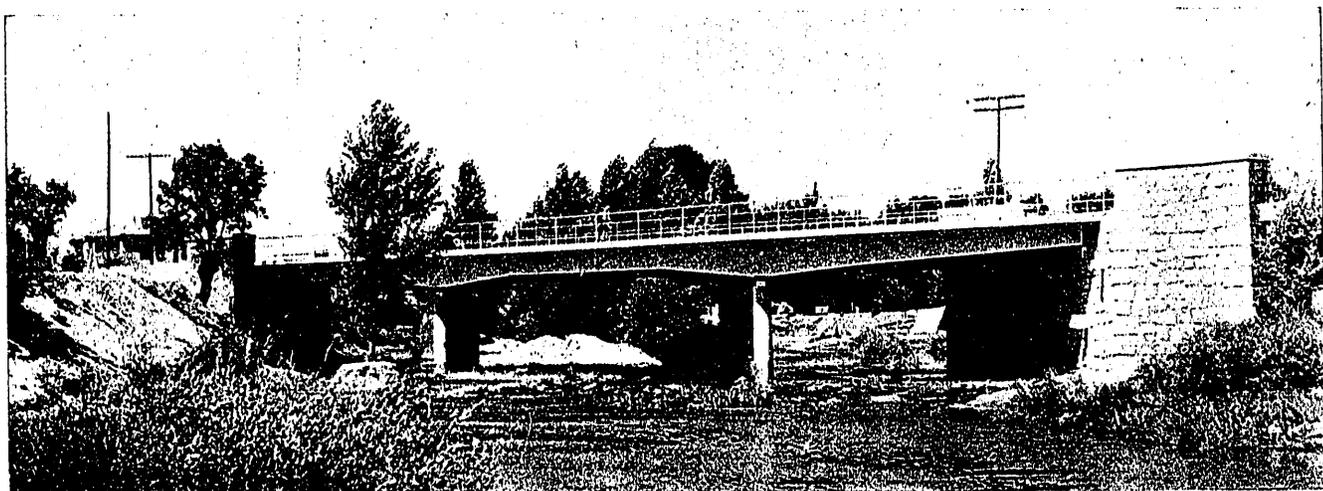


Fig. 2. Vista del tramo principal

1) Momentos isostáticos más reducidos, al dismi-

causa anterior y por la existencia de momentos de empotramiento, a los que favorece la modulación de espesores, creciente del centro a los extremos.

La distribución de espesores correspondiente a una viga de igual resistencia sigue líneas de variación curvas; pero, teniendo en cuenta que se trata de hormigón armado, éstas se sustituyen por rectas (razón constructiva), conservando de todos modos la categoría de igual resistencia, puesto que disponemos, además, de la distribución de hierros para cumplirla.

En cuanto a la forma de coartar la libertad de giro de las barras, la más simple es disponer el tramo en tres vanos, obteniendo de este modo un semiempotramiento en las secciones de los apoyos centrales. Las secciones extremas quedan apoyadas, favoreciendo así la libre dilatación. Pudiera obtenerse mayor coacción en las sustentaciones, disponiendo las

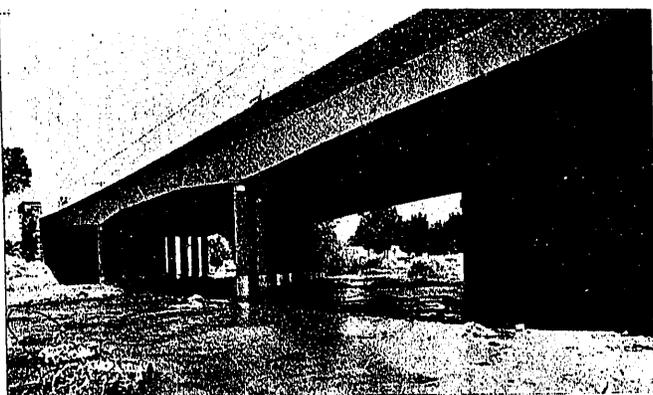


Fig. 3. Otra vista del tramo principal

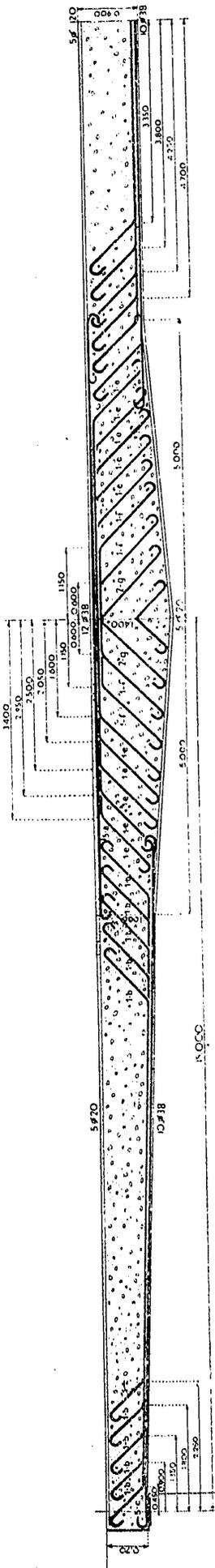


Fig. 4. Sección longitudinal de una viga

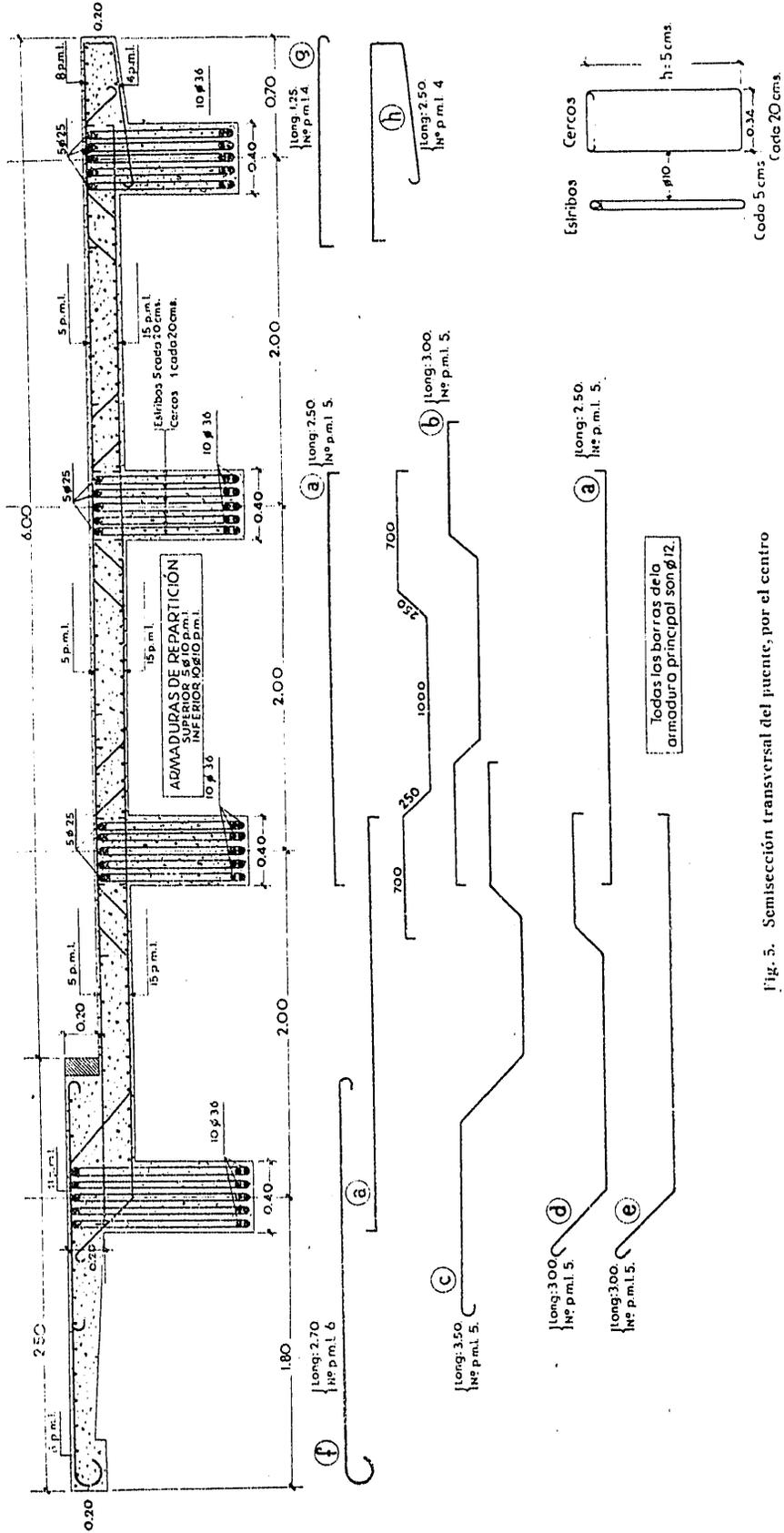


Fig. 5. Semisección transversal del puente, por el centro

pilas solidarias de las vigas; pero no hemos adoptado esta solución teniendo en cuenta que, por la gran

dieran producirse por desigual funcionamiento de los aparatos de apoyo en una sección de tal anchura, teniendo, además, en cuenta la gran oblicuidad; además facilita la construcción en dos mitades independientes. En las zonas de acartelamientos junto a los apoyos centrales se ha dispuesto tablero inferior, con objeto de disponer cabeza de compresión para los momentos negativos, obteniendo a todo lo largo de la viga trabajo en T. Los tableros son de 20 y las vigas de 40 centímetros de espesor. Las aceras se disponen voladas, en parte, sobre las vigas exteriores, las cuales tienen altura aumentada en los 20 centímetros que corresponden al sobrealto de aceras.



Fig. 6. Pilares del tramo y estribo izquierdo, en construcción

oblicuidad del trazado, los tabiques centrales quedan

den al sobrealto de aceras.

Transversalmente se disponen ocho vigas de arriostamiento: dos en los extremos, enlazando las cabezas de las longitudinales sobre los apoyos de deslizamiento; otras dos sobre los apoyos centrales, y cuatro en los extremos de los acartelamientos, que enlazan, además, los dos tableros.

Los apoyos centrales, en lugar de ser muros continuos, que, dada la anchura y oblicuidad, hubieran aparecido cerrando el cauce para casi todos los puntos de vista, son columnas aisladas que reciben las cargas directamente de las vigas longitudinales y tienen una sección de 70 centímetros de diámetro, capaz, no sólo de la función sustentadora, sino también de resistir las avenidas, no muy violentas, del río.

Las extremidades del tramo se apoyan sobre estribos de hormigón, uno de los cuales se encaja en la orilla derecha, y el otro establece separación con la palizada de acceso, cuya extremidad descansa también sobre él.

rían en condiciones de trabajo muy desfavorables y de difícil cálculo.

Teniendo en cuenta estas consideraciones hemos adoptado dintel de tres vanos, constituido por tablero de hormigón armado, sobre vigas longitudinales, de altura variable según las siguientes leyes (figura 4): 0,95 metros constantes en la mitad central del tramo central, variando linealmente hasta 1,40 m en los apoyos y en los tramos laterales, reproducción simétrica con relación al pilar de la zona variable del central, y, después, disminución también lineal hasta terminar sobre los apoyos en 0,70 metros.

En sección transversal (figura 5), las vigas se encuentran espaciadas 2 metros, estando cortado el tablero en dos mitades por junta longitudinal, que tiene por objeto evitar los esfuerzos anormales que pu-



Fig. 7. Vista inferior del tramo principal



Fig. 9. Armado de las vigas principales en las zonas de los apoyos de articulación fija (Falta ejecutar el zunchado de la zona central)

PUENTE SOBRE EL MANZANARES  
DETALLES DE ARMADO DE LAS VIGAS PRINCIPALES  
RUARTE Y COMPAÑIA. S.L.

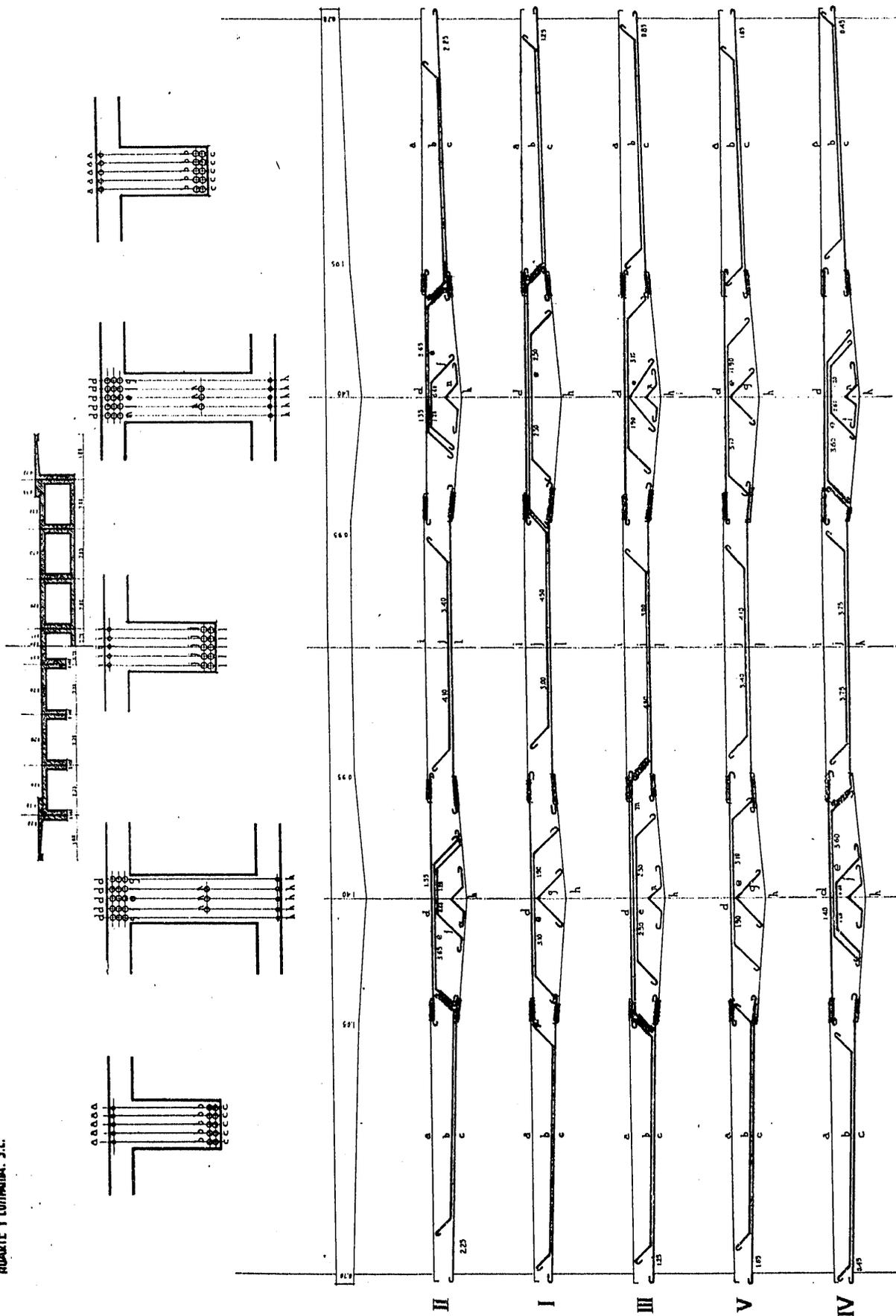


Fig. 8. Planos para el armado de las vigas principales

Para el cálculo se han tenido en cuenta los siguientes esfuerzos :

cia y empleando el procedimiento de las líneas de influencia. El resumen de los cálculos es el siguiente :

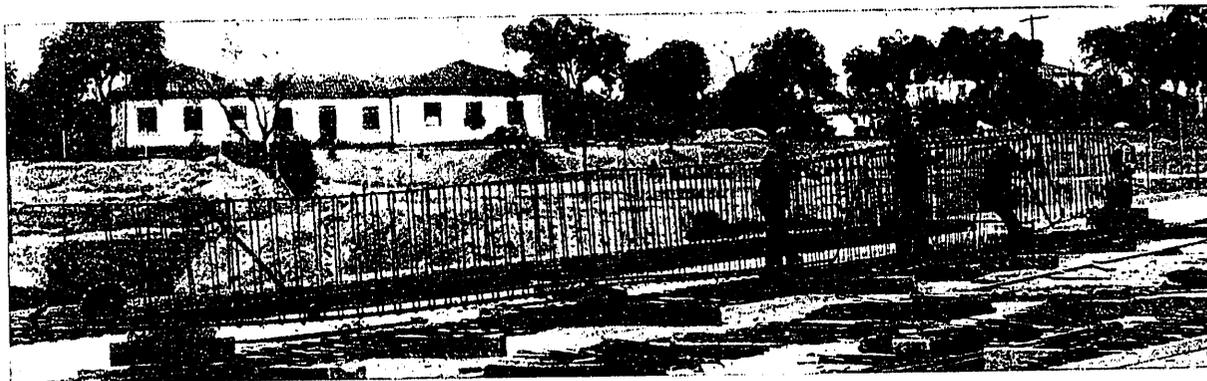


Fig. 10. Detalle del montaje de uno de los cuchillos de las vigas principales

- 1) Peso propio, considerando 2 500 kg/m<sup>2</sup>
- 2) Peso del pavimento (hormigón asfáltico de 5 centímetros).
- 3) Sobrecarga móvil, la de la Instrucción vigente, repartida en el ancho de vía de 3 m y aumentada en un 30 por 100 por efecto dinámico.

- A) Determinación de los momentos de empotramiento en dinteles central y extremo, para varias posiciones de la fuerza unidad.
- B) Deducción de las líneas de influencia de los momentos flectores y esfuerzos cortantes de las secciones más interesantes.

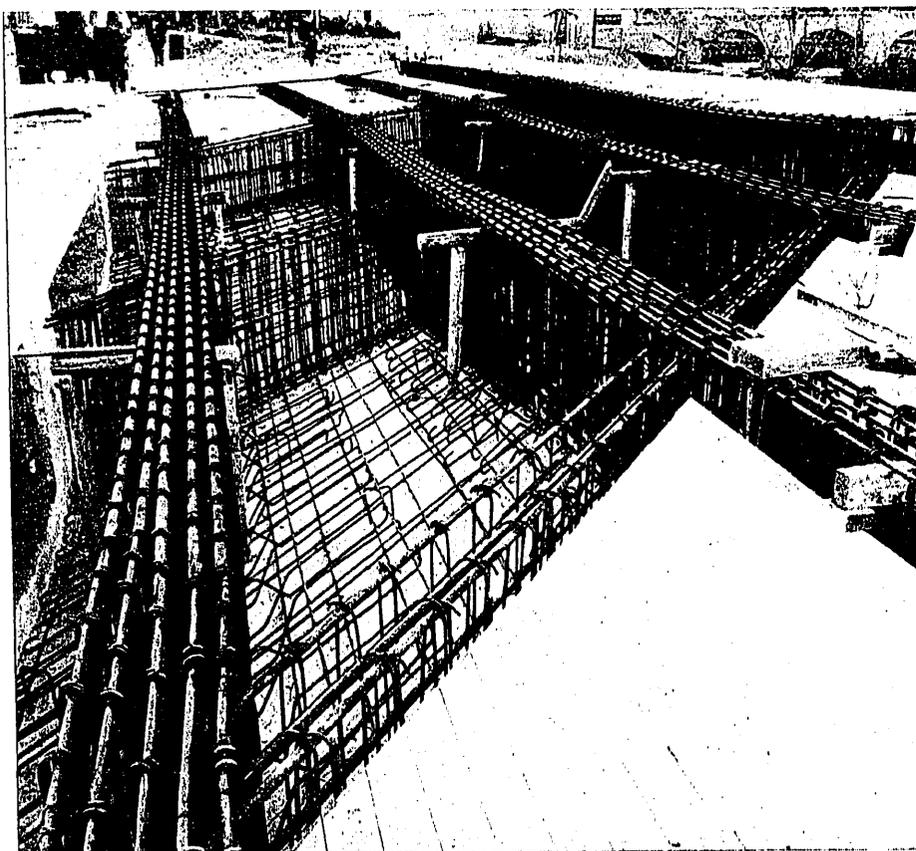


Fig. 11. Vista del armado de las vigas principales, transversales y forjado inferior

C) Cálculo de los momentos flectores y esfuerzos cortantes debidos al peso propio y carga permanente.

D) Cálculo de los momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos debidos a la sobrecarga.

E) Determinación de los momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos, por combinación de los C) y D).

F) Cálculo de las armaduras y comprobación en las secciones central y extremas de los dinteles.

G) Distribución de los hierros a lo largo de los dinteles.

H) Cálculo de la armadura secundaria, habida cuenta del esfuerzo tangencial absorbido por las barras dobladas.

Para el cálculo del tablero se ha tenido en cuenta que trabaja en flexión transversal por las cargas directas y en flexión longitudinal como cabeza de las vigas, combinación que resulta favorable en la zona de

Las máximas cargas admitidas han sido :

Hormigón ... . . . . .	55 kg/cm <sup>2</sup>
Hierro . . . . .	1 200 kg/cm <sup>2</sup>

El cálculo se ha desarrollado por el método elástico, considerando la variación del momento de iner-

momentos longitudinales positivos y desfavorable para los negativos. Además se ha considerado la influencia de la oblicuidad del tramo, lo que origina flechas distintas en las vigas longitudinales para puntos del tablero situados en sección transversal; por consiguiente, éste se ha calculado en las hipótesis extremas de losa de un tramo empotrada en sus extre-

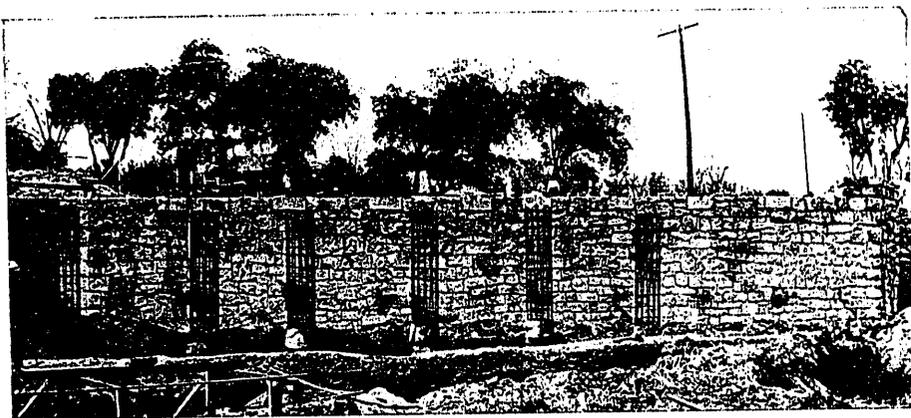


Fig. 12. Armaduras de los pilares y estribo derecho

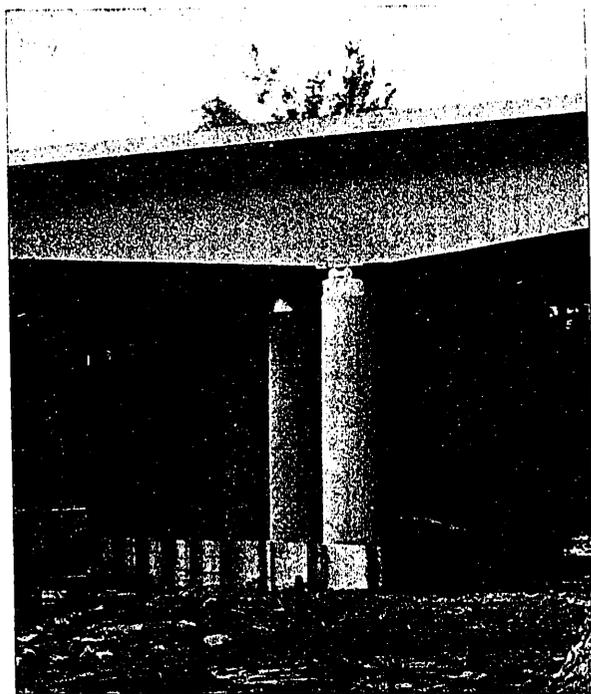


Fig. 14. Aspecto de las columnas con los aparatos de articulación móvil

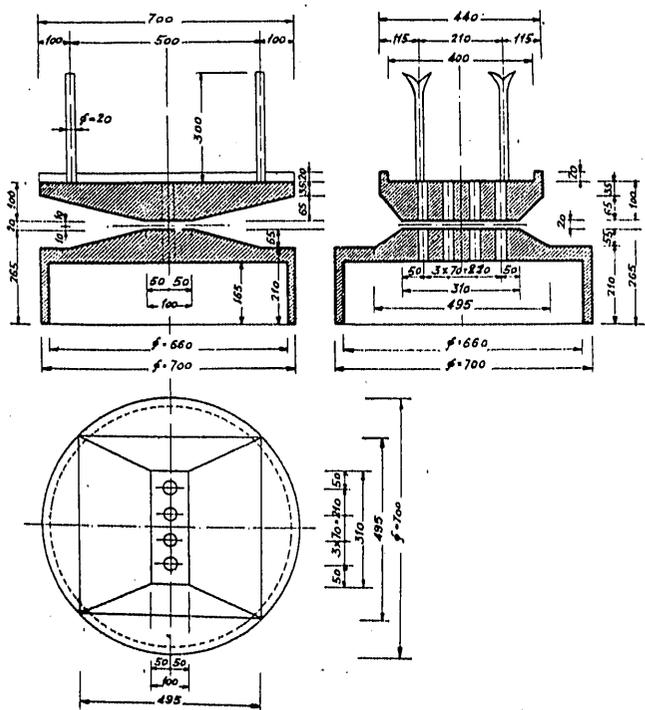


Fig. 16. Detalle de los aparatos de articulación fija



Fig. 15. Disposición de hierros en los apoyos de articulación fija

mos y losa continua con tres apoyos intermedios, los cuales pueden tener asientos. La armadura resulta de más importancia que en los casos corrientes, sin oblicuidad. Como puede observarse, en la sección transversal se han suprimido acartelamientos, habiendo tenido la precaución de acepillar en bisel las tablas del encofrado en la unión de viga y tablero.

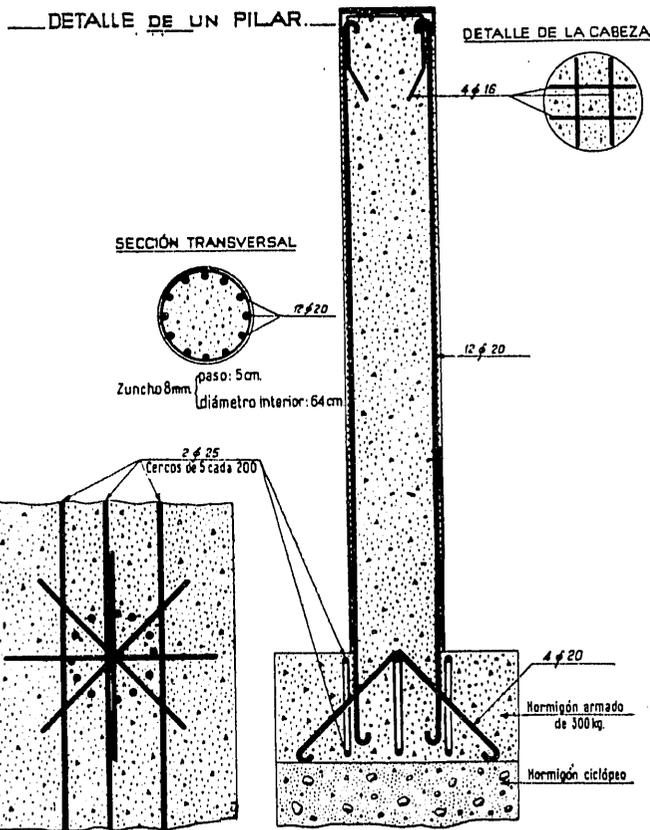


Fig. 13. Detalle de las armaduras de las pilas

Igual criterio de economía en la mano de obra se ha seguido en el proyecto de armaduras, existiendo únicamente la transversal y una longitudinal de repartición, que son dobles, para absorber en todos los casos los momentos flectores de signos contrarios que puedan producirse.

Esta norma de economía y sencillez en la mano de obra ha sido fundamental en la distribución de armaduras en las vigas principales, habiendo sacrificado el criterio de armado estricto a la claridad y uniformidad del mismo. En la figura 8 damos los planos de armado, pudiendo apreciarse que cada viga consta de cinco cuchillos, cada uno de los cuales se descompone en cinco partes, armadas independientemente y enlazadas entre sí para obtener continuidad en el conjunto.

El número de plantillas diferentes se ha reducido al mínimo, y el diámetro máximo de las mismas es 36 mm.

La armadura de las pilas (figuras 12 y 13) se com-

pone de 12 barras de 20 con zunchado de 8 mm a 5 cm. Las cabezas se refuerzan con estribos diametrales y la extremidad inferior con armadura cónica, que las enlaza con una viga longitudinal de repartición.

Los aparatos de apoyo son juegos de dos placas de bronce pulimentado en las extremidades y apoyo móvil de rodillos (fig. 12) y fijo de articulación sobre las pilas. Este último se obtiene mediante cuatro barras (fig. 13) que pasan de la viga al pilar, quedando libres en una altura de centímetro y medio. En la figura 14 se da el detalle de los aparatos de articulación fija.

Carlos FERNANDEZ CASADO  
Ingeniero de Caminos

## El Plan Nacional de Obras Hidráulicas

### APUNTES SOBRE SISTEMA Y ORGANIZACIÓN

Las obras hidráulicas ofrecen al Estado español una oportunidad, si no única, por lo menos excepcional: la de dar solución acertada y definitiva a un problema completamente maduro, de extraordinaria envergadura, y que, justamente, interesa a la opinión pública. La ejemplaridad del acierto para una Administración agudamente necesitada de honda reforma, la semilla de esperanza que un éxito feliz esparcería por todo el área nacional, son también consideraciones que inducen a prestar, al esforzado y patriótico empeño de nuestro eminente compañero Sr. Lorenzo Pardo y sus distinguidos colaboradores, activa y desinteresada asistencia. Por nuestra parte, la deferente y ponderada atención dedicada por el Sr. Lorenzo Pardo a la modesta contribución nuestra, publicada en estas mismas columnas, nos mueve a la vez a insistir sobre alguna de las observaciones en aquélla formuladas.

### *Trascendencia del Sistema*

Cómo el inadecuado sistema contraría el positivo resultado de los múltiples factores favorables que, por singular fortuna, se acumulan en torno de las obras hidráulicas, es puesto de manifiesto expresivamente por el Sr. Lorenzo Pardo: "Se ha contado con una tradición...; con una preparación característica...; con aguas suficientes y terrenos amplísimos...; con mercados interiores y productos apetecibles y apetecidos; con mano de obra; con competencia profesional... Frecuentemente se ha contado con fondos suficientes... Se contaba con una población creciente... Contábamos... con una legislación sólida, bien sentada y de espíritu progresivo a un tiempo. ¿Qué ha faltado? ¿Qué es lo que ha fallado?... Sobre todo, ha faltado el sistema..."

Importa, por consiguiente, atacar el estudio del sistema con claridad y precisión, si verdaderamente se quiere establecer una organización sobre fundamentos objetivamente firmes y reales.

### *Funciones y organismos.—Organismo central y organismos locales*

El fin que se persigue se desdobra, natural y perfectamente, en dos: uno se contrae a proyectar y construir las obras; el otro consiste en la aplicación del agua captada a la transformación de cultivos. Son dos funciones radicalmente distintas y separadas, regidas por técnicas independientes.

En el proyecto y la construcción de las obras, los factores locales tienen sólo una importancia estrictamente técnica. La correspondiente organización no debe ser, por consiguiente, de tipo local, sino de tipo unitario. A un gran organismo central se le puede dotar, económicamente, de personal competente y experimentado, y de los costosos instrumentos que hoy exigen las técnicas de la hidráulica aplicada y de las grandes construcciones. El Sr. Lorenzo Pardo, que posee un completo dominio del asunto, ha llamado ya la atención sobre la fecundidad del dinero empleado en estudiar concienzudamente las obras. Cada día son mayores las cantidades que en todos los países se dedican a investigaciones y estudios, con objeto de lograr economías en la construcción. La más eficiente inversión de los presupuestos de proyectos y de inspección de las obras es obtenida, sin duda alguna, confiando estas operaciones a un organismo único. España no tiene capacidad técnica y económica para nutrir; vigorosos, varios organismos técnicos locales, pero sí para equipar y sostener lucidamente el moderno organismo nacional que las obras hidráulicas españolas necesitan con urgencia.

En la implantación de regadíos, los factores locales son, por el contrario, los dominantes, los que principalmente califican y gradúan las posibilidades de la difícil y laboriosa transformación. Su variedad y diversidad especifican de tal manera el problema de cada zona de riego, que el resultado dependerá, en mucha parte, de los métodos y procedimientos que en cada caso se apliquen para promover e impulsar el cambio de cultivos. La peculiar inercia de las actividades rurales y el largo período