

Colección de puentes de altura estricta¹

II

Características estructurales de los modelos.

Ha quedado establecido que las características fundamentales de la solución adoptada son: continuidad estructural entre los diversos elementos y adopción de formas de igual resistencia para cada uno de ellos.

Estas ideas se han desarrollado teniendo siempre presente el punto de vista constructivo, contrastando cada una de las disposiciones adoptadas en una experiencia inmediata, pues he construido directamente, como ingeniero de la Empresa Constructora, los dos ejemplares más importantes (puente de Puerta de

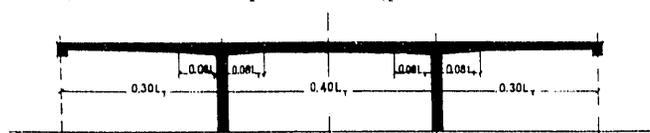


Fig. 7.ª --- Dinteles de losa.

Hierro y puente de El Pardo), e indirectamente los demás, lo que me ha permitido no sólo afinar en relación a la facilidad constructiva, sino también en orden a la claridad de interpretación de los planos, punto muy importante para el éxito de la Colección.

De acuerdo con esto, el criterio que más firmemente he sostenido en el proyecto de los modelos ha sido el de sencillez de ejecución: primero, porque sencillez es economía y, segundo, porque cuanto más sencilla sea una estructura, menor será la probabilidad de equivocarse en su interpretación y, por consiguiente, más alejado el riesgo de fracaso por de-

Por estas razones hemos sacrificado siempre el criterio de armado estricto y formas de igual resistencia, ante el de economía, lo mismo en lo que se refiere a molde de barras y disposición de las armaduras que en cuanto a encofrados y puesta en obra del hormigón.

Vamos a pasar revista a los distintos elementos estructurales, justificando para cada uno, la forma adoptada y la distribución de hierros.

Dinteles (figuras 9.ª a 14.).

Para obtener económicamente la forma de igual resistencia, adoptamos contorno de altura variable, obtenido amoldando rectas al perfil teórico de igual resistencia a la flexión para los esfuerzos que realmente actúan¹. Así, en los tramos centrales, el intradós ha resultado formado por tres rectas: horizontal y dos inclinadas simétricas partiendo del cuarto o del quinto de la luz, y para los tramos laterales, dos inclinadas, partiendo de tercio o cuarto de la luz, con relación a la sección de empotramiento.

Teóricamente, la forma de igual resistencia supone contornos curvos, pero es preciso no olvidar que, al realizarla de hormigón armado, el hormigón reclama rectas por razón constructiva y el hierro proporciona variación del momento de inercia de un modo casi continuo, mediante su distribución en barras, que pueden intercalarse sucesivamente. Si al efectuar esta intercalación tenemos en cuenta, además, la dirección de las tensiones principales y prolongamos las barras de modo que rayen inclinadamente la superficie, obtendremos la forma más económica y conveniente para las piezas de hormigón armado que trabajan a flexión.

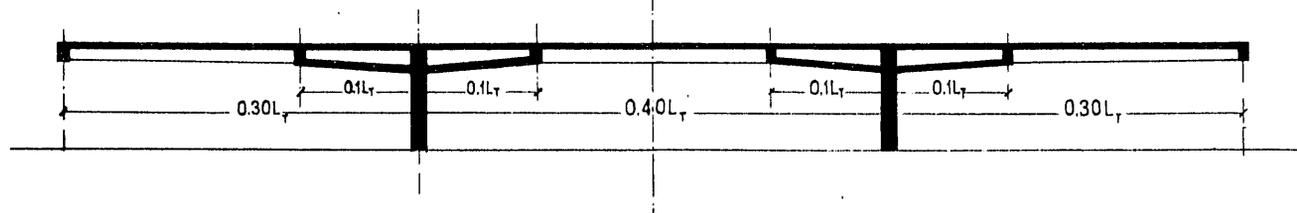


Fig. 8.ª --- Dinteles de vigas.

fectos de construcción. De nada sirve aquilatar en espesores y hierros, si esto trae consigo un encarecimiento de la obra, que a veces compensa y aun sobrepasa el ahorro conseguido en las cubicaciones y, además, deja una puerta abierta a equivocadas interpretaciones del constructor (el cual, dado el sistema de contratación vigente y la poca importancia de las obras que proyectamos, puede no disponer de los conocimientos o asesoramientos técnicos necesarios), lo que puede dar lugar, por ejemplo, a que las armaduras queden mal distribuidas y existan zonas cuya resistencia quede tan debilitada, que fallen a la actuación de las sobrecargas.

La eficacia de los dinteles con acartelamientos resalta claramente en la figura 9.ª. Al empotrar las extremidades disminuye el momento máximo, por consiguiente, puede reducirse el canto, lo que supone disminución del peso propio y, por consiguiente, de los momentos. Esto permite una nueva reducción del canto, pero ahora ajustándolo a la distribución de momentos; y como el máximo de éstos corresponde a los extremos, dispondremos acartelamientos, con lo que se obtiene: primero, mayor reducción del peso en la zona central, que es donde produce mayores efectos de flexión, y segundo, un aumento del valor

¹ Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, número 18, de 1936.

¹ Véase el procedimiento seguido en el folleto *Colección de Puentes de Altura Estricta*, páginas 8 y 9.

relativo del momento en los extremos con relación al central, o sea, reducción de éste para la misma carga (la suma de los dos da el isostático) por tratarse de viga con momento de inercia variable. Además, la forma resulta en perfecta armonía con la resistencia para el traslado horizontal de cargas, pues como

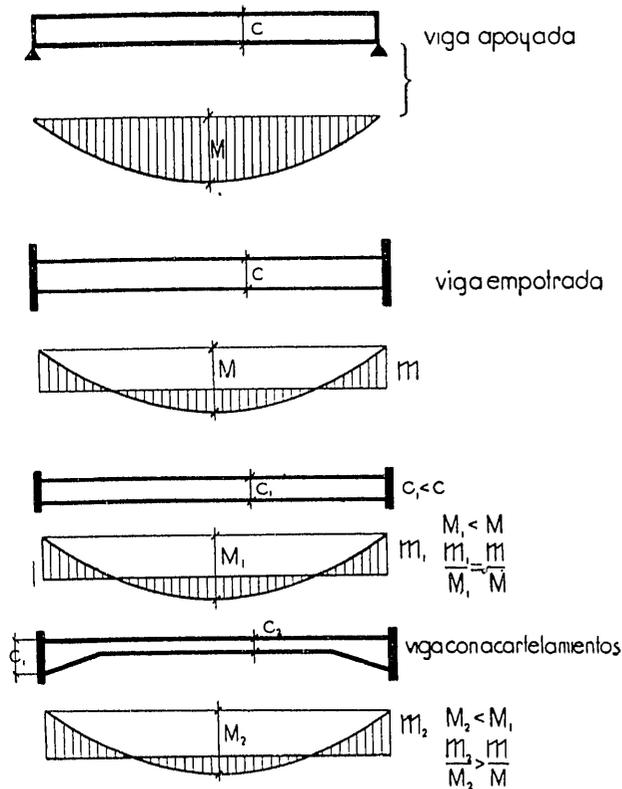


Fig. 9.ª - Teoría del dintel con acartelamientos.

el esfuerzo cortante crece desde el centro a los extremos, la viga les ofrece altura variable en esta misma relación.

La sección transversal de los dinteles de losa (figura 10) está integrada por tres rectángulos, uno horizontal que ocupa todo el ancho de calzada, encuadrado por dos verticales, que refuerzan los bordes aprovechando el sobrealto de aceras. Éstas son simples losas voladas, cuyo espesor dependerá del ancho necesario.

Las armaduras de las losas son únicamente dos, la principal en dirección longitudinal, y la de repartición en dirección transversal. No utilizamos estribos, pues en primer lugar son innecesarios, ya que las tensiones de desgarramiento no superan el valor admisible de 4 kg./cm.², y además, prácticamente, son inútiles, pues resulta muy difícil fijarlos en posición vertical. En cambio, doblamos los hierros longitudinales de modo que absorban directamente las tensiones principales y disponemos alambres de 3 mm. en zigzag en las zonas de concentración de esfuerzos.

En la disposición de la armadura principal (figura 12) se ha tenido muy presente facilitar el moldeo y colocación de las barras, por lo que empleamos cables entre 18 y 22 mm., combinándolas de modo que haya el menor número posible de plantillas; así, en los modelos de pórtico, existen sólo siete diferentes para dintel y tabiques, y cinco en los dinteles de varios vanos. Tampoco hemos perdido de vista que haya

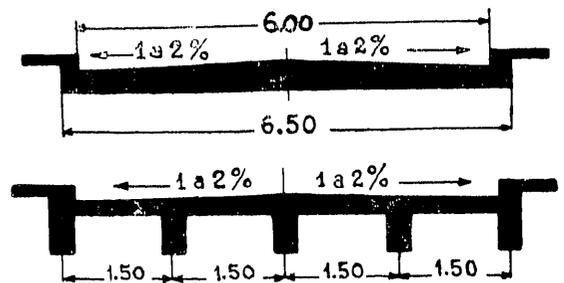
una continuidad eficaz en el armado, para lo cual, en los modelos de pórtico, de las catorce barras que por metro lineal suman las armaduras superior e inferior, cuatro de cada una pasan de lado a lado, y otras cuatro son continuas, abarcando la zona inferior en el centro y las superiores en los extremos. En los dinteles de varios vanos, de las dieciséis barras, cuatro van de extremo a extremo, lo mismo en la cara superior que en la inferior, y otras seis no son continuas, pero empalman en las zonas quebrantadas, de modo que pueda considerarse prolongación y entonces abarcan una zona de momentos positivos y dos de negativos. Estos empalmes no complican el armado, pues cualquiera de las plantillas que por un lado enlaza por el otro queda libre.

La armadura de repartición está constituida por redondos de 8 ó 10 mm., dispuestos en las dos caras y repartidos a razón de cuatro u ocho barras, según que enlacen barras de compresión o de tracción. No hemos escatimado en esta armadura, pues se precisa un mínimo para que sea eficaz la transmisión de cargas en dirección transversal.

Los encofrados resultan sencillísimos: el intradós se compone de planos amplios y se realiza con simples tableros de madera, sostenidos por un andamio elemental.

En el caso de dinteles con vigas adoptamos la disposición de doble forjado para las zonas de acartelamientos. Con esto se consigue tener siempre secciones resistentes integradas por elementos en T, forma la más apropiada en cuanto a resistencia y disminución de canto, cualquiera que sea el signo de los momentos flectores y, por consiguiente, no hay brusquedades en la variación del momento de inercia virtual y pueden aplicarse con toda confianza las ventajas derivadas de la consideración de las formas de igual resistencia.

Forzando los acartelamientos o recurriendo al acartelamiento en planta por aumento del grueso de la viga, podría haberse obtenido el mismo efecto, pero en el primer caso hubiera resultado una altura excesiva, y en el segundo no se obtendría la misma eficacia a menos de aumentar excesivamente el vo-



Figuras 10 y 11. - Secciones transversales de los dinteles de losa y de vigas.

lumen de hormigón en las extremidades. Además, otra razón importante que nos ha llevado a adoptar esta solución es la ya indicada, relativa a sumergibilidad de las obras. Por otra parte, la ejecución del forjado inferior es sencilla desde el momento que adoptamos acartelamientos rectos.

Con esta disposición adoptada, los dinteles están, en realidad, constituidos por dos fuertes arranques

con sección transversal en cajón multicelular reunidos por un tablero con vigas cuya longitud es la mitad del vano (10 m. como máximo), quedando arriostradas las vigas por el forjado del tablero en el centro y por doble forjado en los extremos, no requiriendo más vigas transversales de arriostramiento que las que enlazan los dos forjados en el arranque de los acartelamientos y sobre los apoyos intermedios.

Pudiera parecer que la disposición en cajón supone una gran pérdida de madera en el encofrado inferior, y no es así, pues ésta puede retirarse íntegramente, dejando para el final la ejecución de un trozo en todo el ancho del forjado superior. Cuando esto no convenga y el forjado se ejecute de una sola vez, se pierde únicamente el encofrado de dicho forjado, que puede disponerse con tablilla o con tabla deteriorada por el uso.

mas que, como veremos por el cálculo, es muy conveniente.

En las armaduras del tablero se han tenido en cuenta las mismas consideraciones que en los dinteles de losa, y sólo existen dos: la principal en dirección transversal, con barras que abarcan un paño y se combinan con las de los contiguos para establecer continuidad y resistir convenientemente los momentos positivos y negativos, y la de repartición en dirección longitudinal, que no escatimamos, pues interviene también reforzando la armadura de tracción o compresión de la viga, según las regiones.

La armadura de las vigas (fig. 13) se ha proyectado siguiendo las mismas normas que en la principal de las losas: sencillez en el moldeo y colocación de barras (los calibres varían de 28 a 36 mm.), mínimo de plantillas diferentes (diez en las series de tres tramos y ocho en los pórticos) y continuidad

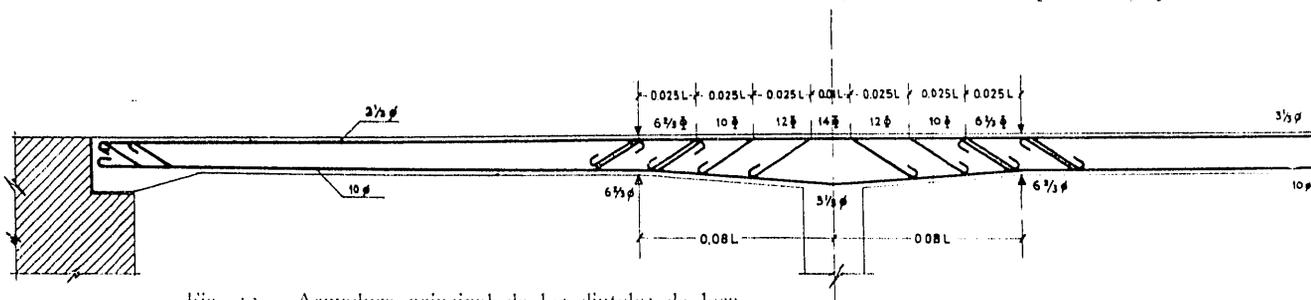


Fig. 12 — Armadura principal de los dinteles de losa.

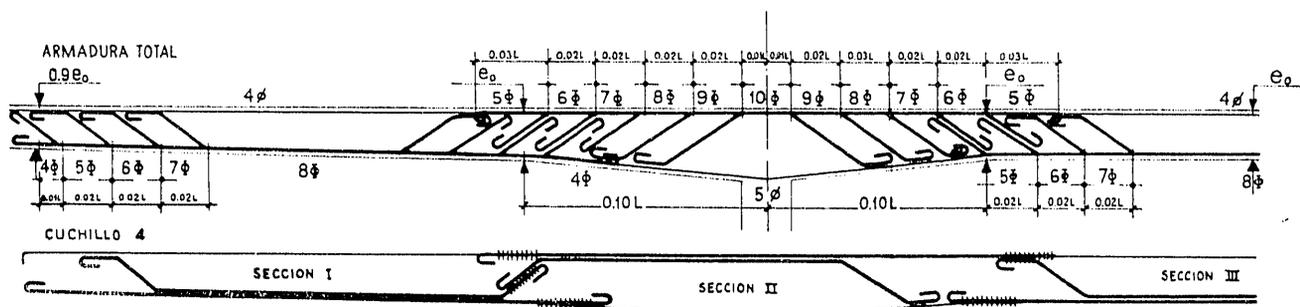


Fig. 13. — Armadura principal de una viga y detalle de un cuchillo.

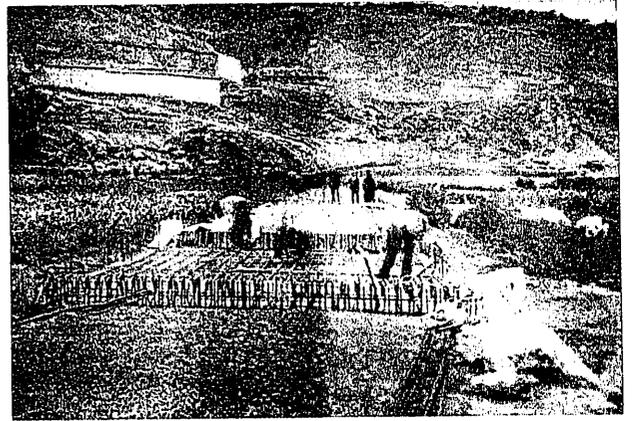
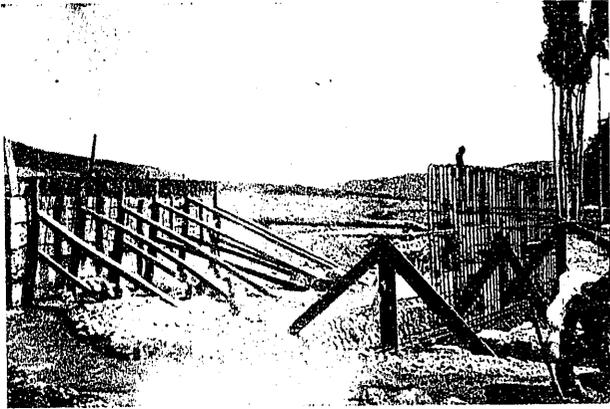
La separación entre vigas principales es de 1,50 metros, lo que permite obtener o bien secciones transversales con 3,00, 4,50, 6,00, etc. metros de anchura de calzada, volando las aceras a partir de los ejes de vigas exteriores, con un recrecimiento de 20 cm., o bien disminuyendo la calzada en un ancho de viga, para que las exteriores vengan recreadas en los 20 centímetros de sobrealto de acera y éstas comienzan desde el paramento interior de dichas vigas. Para la resistencia del dintel no se tienen en cuenta las aceras y, por consiguiente, éstas pueden tener el ancho que convenga, con los espesores que en consecuencia les correspondan. Según convenga al desagüe, o se da pendiente longitudinal al dintel o se moldea el tablero con la inclinación transversal correspondiente al bombeo. Esta segunda solución es muy conveniente también desde el punto de vista de resistencia, pues mejora las condiciones de la viga central, que es la que resulta más sobrecargada, dándole más altura y mayor espesor de forjado. La solución definitivamente adoptada es la de la figura 11, que cumple de modo armónico todas las condiciones funcionales y estructurales: sobrealto de aceras y desagüe transversal, beneficiando la resistencia de vigas central y extre-

eficaz en el armado. Han sido ordenadas en cuchillos combinando una barra de compresión con dos de tracción (una recta y otra quebrantada), y los estribos correspondientes. Además, cada cuchillo se divide en secciones, de modo que, para el montaje, las longitudes no superen 10 m. en los modelos de mayor luz. Estas dos disposiciones simplifican extraordinariamente la colocación en obra de las armaduras, pues las secciones se arman previamente con toda comodidad, incluso en un taller alejado de la obra y se transportan en camión.

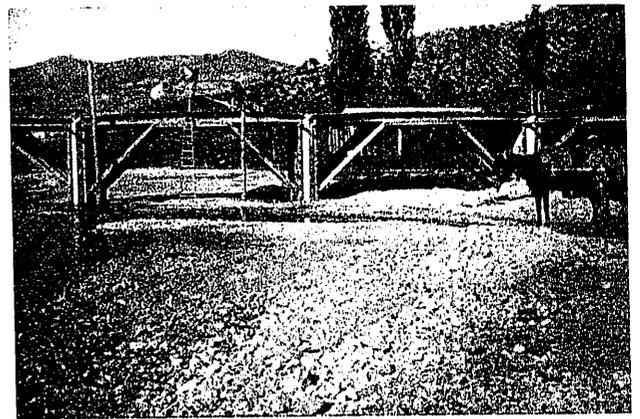
Como puede verse en las figuras, las secciones corresponden alternativamente a zonas de doble forjado, y constan de tres barras, dos rectas, de las cuales una lleva ganchos terminales, y una quebrantada con ramas extremas inclinadas a 3 por 2, prolongada una de ellas mediante un trozo horizontal para anclarse en el hormigón, y la otra dispuesta simplemente para enlazarse con la correspondiente de la sección inmediata.

La colocación en obra de la armadura puede hacerse: bien ensamblando previamente todas las secciones, para introducir en el encofrado un cuchillo completo, o bien por secciones, empalmado cada

LÁMINA IV.



Armado de los estribos y del dintel de un pórtico sencillo.



Andamiaje de varias obras.

una a la anterior ya colocada en su posición definitiva. Este segundo sistema es muy cómodo, pues como las secciones corresponden alternativamente a zonas de acartelamiento, donde no se disponen los encofrados de las vigas sino hasta después de armarlas por completo, quedan, mientras tanto, perfectamente accesibles las extremidades de las barras. Así, los empalmes se realizan sin dificultad enlazando las dos superiores y las dos inferiores en prolongación (una de entre dos barras no lleva ganchos) y desplazando la barra quebrantada de la nueva sección, hasta que la rama inclinada venga en contacto con la correspondiente de la anterior. Empalmadas las barras, se sitúan definitivamente los estribos de las extremidades de las secciones, separados a ambos lados para facilitar la operación, y quedará reforzado el enlace, pues en la zona común todas las barras quedan atadas por los mismos estribos.

Como ya hemos indicado, y se aprecia claramente en las fotografías, en las zonas de acartelamientos la armadura queda a la vista, lo que permite comprobar la situación correcta de todas las barras, o corregir la de las quebrantadas, hasta que rayen de un modo uniforme la superficie de la viga, lo cual puede hacerse corriendo ligeramente estas barras, puesto que si por un extremo empalman, por el otro quedan libres.

El conjunto de cuchillos de una viga se solidariza atándolos con cercos, que se colocan en el enco-

frado desde el primer momento, abiertos por el lado superior, con longitud sobrante para cerrarlos al final empalmado las extremidades.

Una vez terminadas las vigas longitudinales se arman las transversales, pasando las barras para colocar luego los estribos, operación sencilla, pues se trata de hierros de poco calibre.

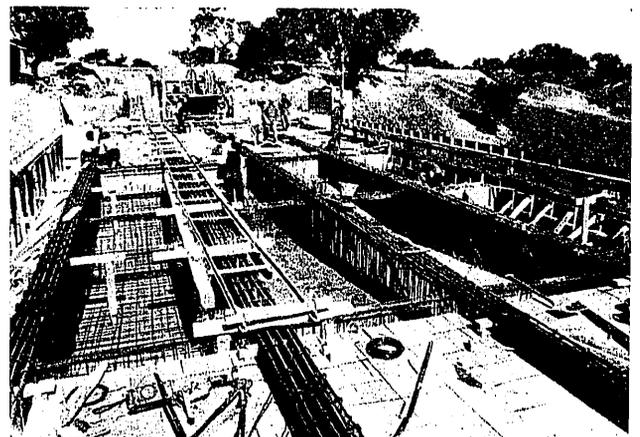
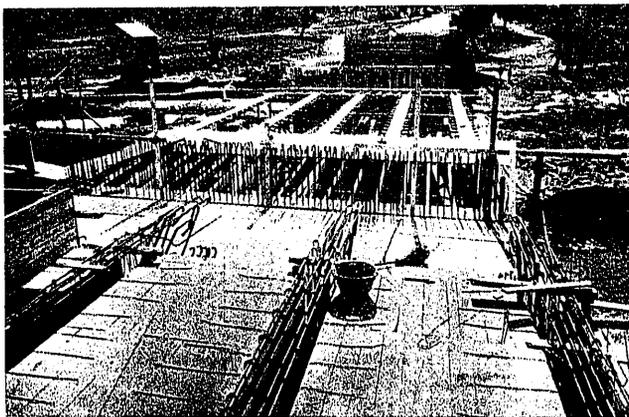
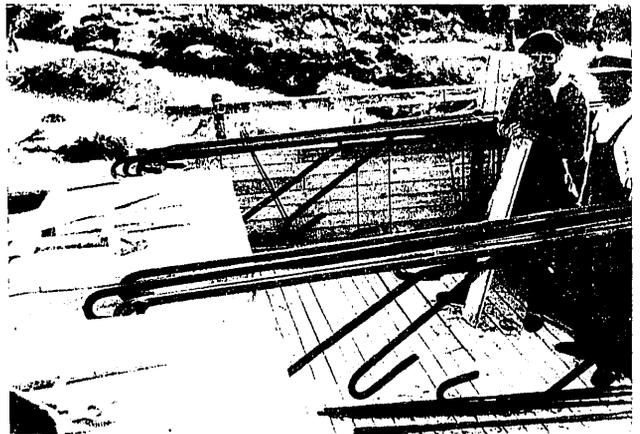
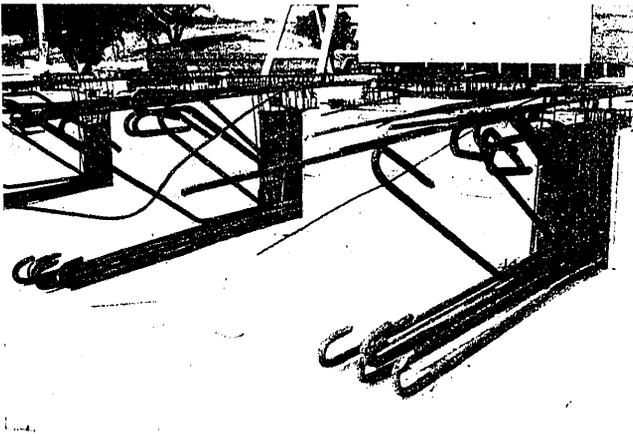
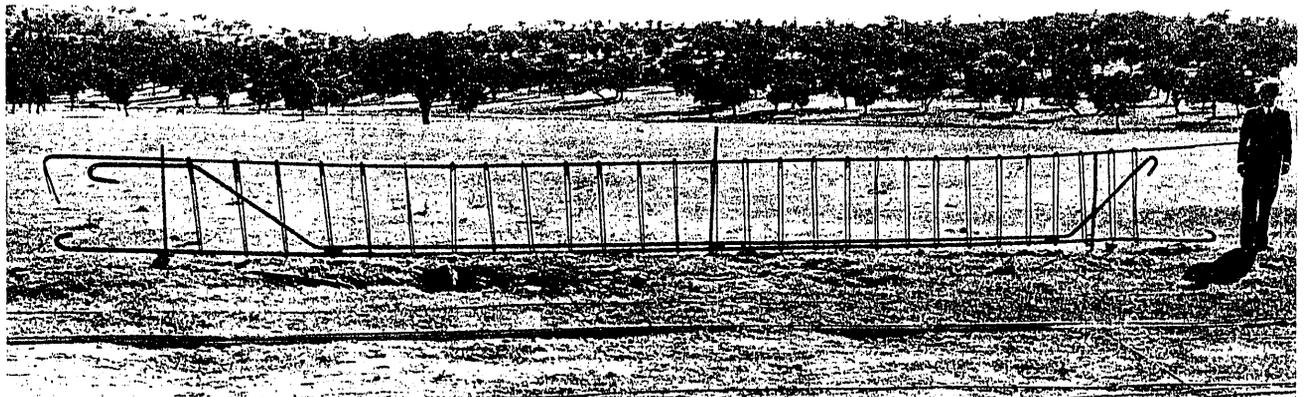
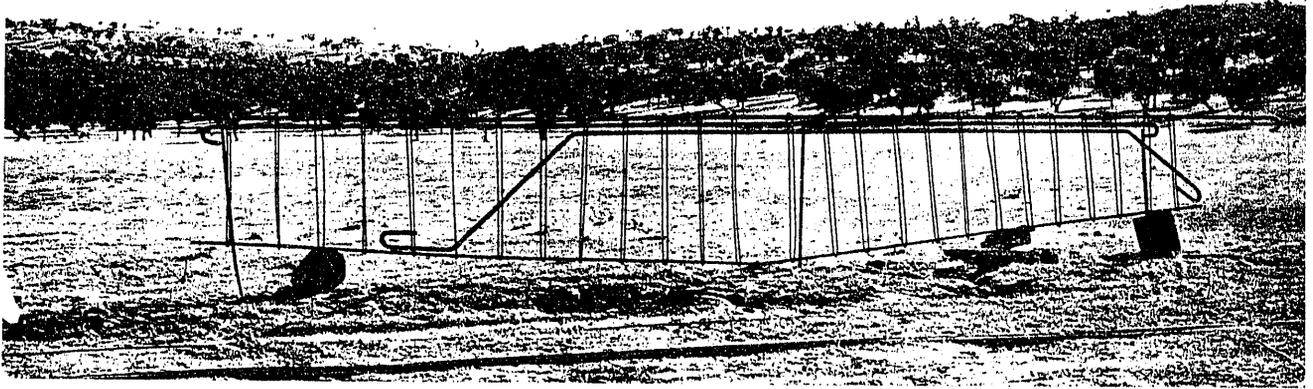
A continuación se arman los forjados inferiores y se procede al hormigonado, que consta de las siguientes etapas:

1.^a etapa. Ejecución de las losas inferiores en las zonas de doble forjado, lo que no tiene dificultad, pues se rellena toda la superficie del cajón inferior, con una altura uniforme de 15 cm.

2.^a etapa. Inmediatamente después de terminar la operación anterior, se colocan los costados de las vigas en las zonas de acartelamientos, con lo que se obtendrá continuidad de encofrado para las mismas, pues en las otras zonas se montó desde un principio, procediéndose a hormigonar éstas en toda su longitud y hasta el nivel del plano inferior del tablero.

3.^a etapa. Al día siguiente de hormigonar las vigas se retiran los costados de las mismas, que se colocaron en la etapa 2.^a para las zonas en cajón, y se prepara el encofrado del tablero en dicha zona, completándose de este modo el total, lo que permite proceder al armado y hormigonado de aquél de un modo continuo, bien por zonas transversales tomando todo el ancho del puente, bien por zonas longitudi-

LÁMINA V.



Armaduras de los dinteles de vigas.

nales estableciendo las juntas en el eje de las vigas longitudinales y transversales.

Ya hemos indicado que si se quiere puede salvarse toda la madera del cajón dejando unas zonas en los forjados superiores para hormigonar después, pero no merece la pena esta complicación dada la insignificancia de la pérdida. Es precaución importante dejar agujeros en las partes bajas del forjado inferior para evitar que se acumule el agua procedente del riego de hormigón durante la construcción.

Cuando convenga dejar una junta de construcción, porque haya varios tramos, o se quiera utilizar

ción de la obra lo permita. Para los apoyos extremos adoptamos también la solución de tabique en los modelos de pórtico con losas, pantalla con vigas en los pórticos de vigas, y esta última solución o estribos de fábrica cuando la sustentación sea de simple apoyo. También en este caso se proyecta apoyo sobre palizada, dejando que el terraplén desborde por debajo de una pequeña pantalla que refuerza la viga de apoyo; esta solución es muy ventajosa para el caso de mal terreno de cimentación, en los que conviene reducir al mínimo el peso de la superestructura y eliminar los empujes horizontales.

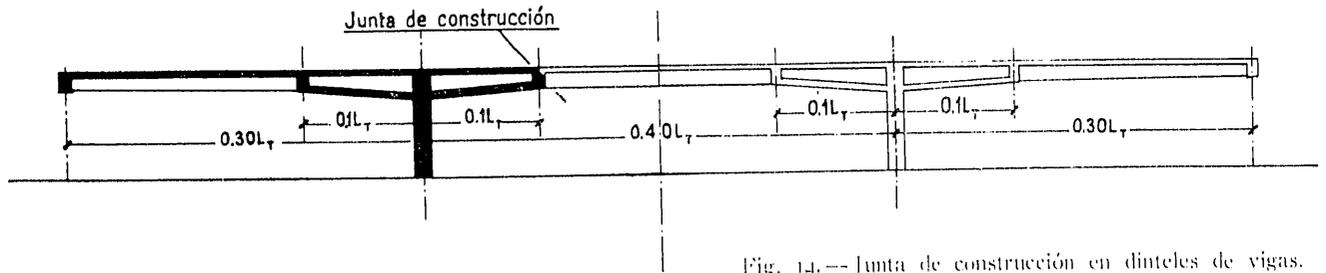


Fig. 14. -- Junta de construcción en dinteles de vigas.

la madera de uno de los laterales para el otro, se corta transversalmente la estructura (fig. 14) en la primera viga de arriostramiento del tramo central, es decir, al cuarto de la luz de dicho tramo, después de haber ejecutado completamente una de las zonas de sección en cajón, dejando la junta sobre la viga de arriostramiento que se hormigonará por mitades en las dos etapas. Esto asegura la continuidad del enlace; además las vigas longitudinales se cortarán aproximadamente en bisel de 45°, que resultará atravesado por barras inclinadas de las dos secciones y, además, se reforzará con alambres de 5 mm, en las dos caras, perpendicularmente al plano de junta y suficientemente anclados en las dos partes, para que no puedan iniciarse grietas en la superficie.

El encofrado resulta sencillo, pues vigas y tableros se cortan a escuadra, sin acartelamiento de ninguna especie, debiendo adoptarse la precaución de cepillar en bisel todas las esquinas interiores.

Apoyos.

Adoptamos como típica la solución de tabique para los apoyos intermedios que, combinamos con la de palizada, para los dinteles apoyados en que la fun-

Los tabiques de espesor constante (30 a 60 cm., según luces y alturas) se disponen con tajamares triangulares, cuando se trate de corrientes de agua, y la cimentación se realiza sobre zapata que reparta la carga al terreno o la distribuya entre los pilotes, según los sistemas.

Las armaduras del tabique (fig. 15) son tres: la principal de hierros verticales, anclados en las zapatas por el extremo inferior y por el superior, o bien anclados en los dinteles o doblados en ángulo recto para re-

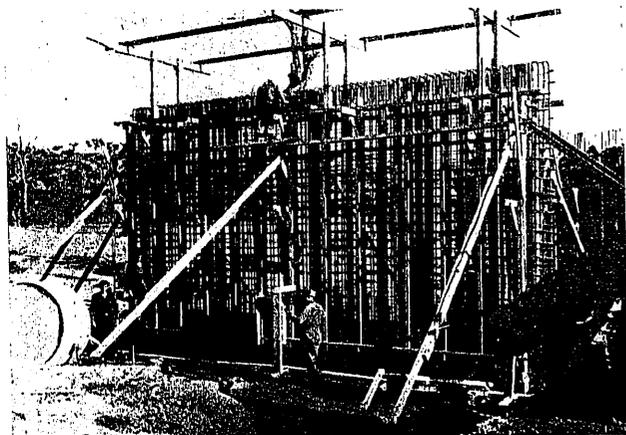
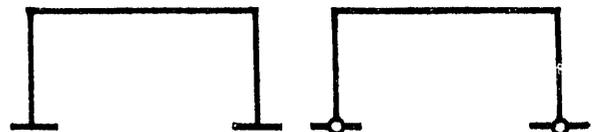
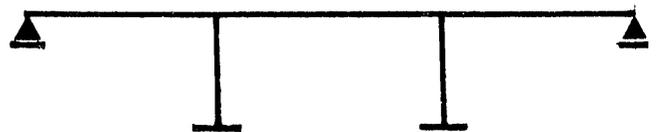


Fig. 15. -- Armadura de un tabique en el puente de El Pardo.

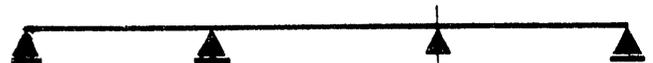
PÓRTICO SENCILLO



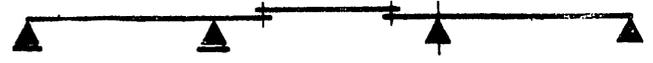
PÓRTICO EN π



DINTELES TRES VANOS



CANTILEVER LOSA



CANTILEVER VIGAS



Fig. 16. -- Sistemas de sustentación.

forzar la cabeza, según se trate de apoyo solidario o independiente. Es siempre simétrica, y en los casos de pórtigos sencillos queda reforzada en la parte superior por las barras de enlace que vienen de los dinteles.

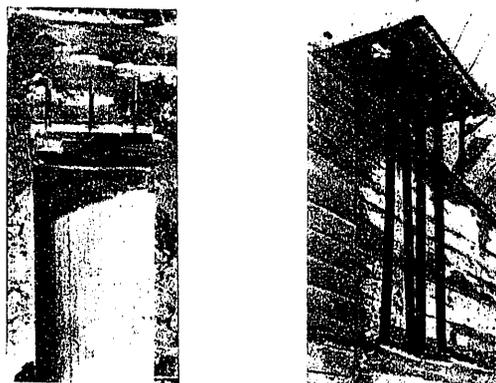


Fig. 17.—Articulaciones del puente de Puerta de Hierro.

La de *repartición*, horizontal, constituida por barras de 10 mm, separadas por 20 cm.; en dos mitades forman cerco completo, verificándose el enlace en los tajamares que ambas abarcan, quedando de este modo reforzado el saliente triangular, que es el que ha de soportar el choque de los cuerpos arras-trados y flotantes. La separación de estas barras se reduce a 10 cm. en la región superior en los casos de transmisión a través de vigas.

La *armadura transversal*, formada por alambres de 3 mm, que pasan en zigzag de una cara a otra, enlazando las barras de las dos cabezas y agrupadas dos cada 20 cm, de modo que se crucen formando rombos que se desplazan de una capa a la otra para que vayan enlazando todas las barras.

ble en todos los casos. Únicamente para los modelos de pasos de ferrocarril se proponen soluciones con articulación en los pies, que tienen la ventaja de proporcionar una casi total independencia con respecto a los asientos de cimentación. Ésta se realiza, como en todos los casos de articulación fija, mediante barras pasantes, y por esta razón no es aplicable al paso de cauces, donde los pies han de quedar cubiertos por las aguas.

En los casos de pórticos en π adoptamos también, por idénticas razones, la sustentación mediante empotramiento de los pies. Los tramos extremos se apoyan en los estribos, por intermedio de juegos de placas de plomo o de bronce, según se trate de losas o vigas.

En los dinteles de sustentación isostática, se emplea apoyo de articulación fija formado por barras pesantes verticales y apoyo de articulación móvil pendular.

La articulación fija se constituye enlazando los dos elementos por barras que siguen la dirección de los esfuerzos, ancladas en ambos con suficiente longitud, y distanciándolos entre sí de uno a dos centímetros, mediante la interposición de una placa de plomo de ese espesor, que las separa durante construcción, ayuda en la transmisión de los esfuerzos y no dificulta el giro, pues su plasticidad le permite deformarse los milímetros que correspondan.

Cuando se trate de dinteles de losa, en los que la transmisión de esfuerzos se verifica en toda la anchura, la articulación se completa añadiendo a los dos lados de la placa de plomo bandas de corcho del mismo grueso, que materializan la separación al poner en obra el hormigón del dintel. Cuando la transmisión se concentra en los anchos de vigas, se refuerzan los fondos de éstas y las cabezas de los apoyos mediante placas de acero ancladas en las mismas. (Ver figura 18, *a* y *b*.)

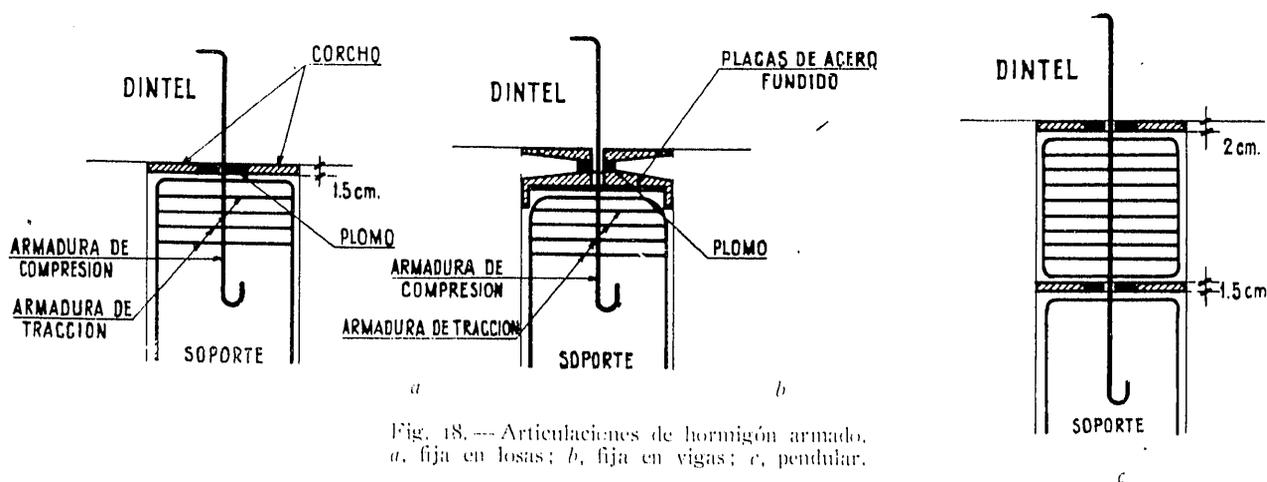


Fig. 18.—Articulaciones de hormigón armado. *a*, fija en losas; *b*, fija en vigas; *c*, pendular.

En el caso de apoyos aislados, las armaduras son idénticas a las de un pilar corriente, y lo mismo cuando se trata de palizadas.

Sustentaciones.

Para los pórticos sencillos adoptamos como normal la sustentación mediante empotramiento, que resulta más sencilla que la de articulación, y es utiliza-

En los apoyos móviles hemos utilizado distintos sistemas; así, en los puentes de Puerta de Hierro figura 17) y de El Pardo se disponen juegos de dos rodillos de acero fundido entre placas, de rodadura, del mismo metal. (En realidad esto no es una verdadera articulación, pues debiera ser de un solo rodillo, pero la alteración es insignificante, y en cambio tiene la ventaja constructiva con relación a la de un solo rodillo de que, habiendo nivelado bien la placa inferior,

se tiene la seguridad de que la superior quedaría bien colocada, mientras que en el otro caso es preciso nivelar también la superior y disponerla de modo que se conserve en esta posición durante el hormigonado.) En el puente de La Puerta se ha utilizado un carril cuyo patín queda embébedo en el tabique de apoyo, y la cabeza queda en contacto con una placa de palastro unida al dintel.

Pero, aunque en ciertos casos pudieran utilizarse estos tipos particulares, adoptamos como definitivas las articulaciones deslizantes de hormigón armado mediante péndulos, que tendrán el anecho de la viga o el total de la losa, según los casos. El péndulo se obtiene duplicando una articulación fija (fig. 18, c); y así se disponen barras pasantes verticales que enlazan dintel con péndulo y éste con el apoyo, y una armadura intermedia formada por marcos y estribos que soportan las compresiones longitudinales y las tracciones transversales que en él se desarrollan.

En los dinteles cantilever, como para conseguir el isostatismo disponemos también de las articulaciones interiores, pueden combinarse distintos tipos de sustentación. Para los modelos de losa resulta más conveniente el mismo sistema de sustentación exterior que en los dinteles continuos (fig. 16) y articulaciones interiores fijas del mismo tipo que siempre, salvo que los bordes de losa se cortan a 45° y las barras pasantes tienen también esta inclinación. En los modelos de vigas disponemos una de las articulaciones interiores en apoyo deslizante sobre placas de bronce, y entonces pueden ser fijos los apoyos sobre pilas.

En los apoyos extremos, cuando la carga es relativamente reducida, disponemos los apoyos desli-

zantes mediante dos placas de plomo o de bronce cepillado, y cuando la carga se concentra recurrimos a los apoyos pendulares de hormigón armado.

Acompañamiento.

En las obras de acompañamiento se han proyectado las soluciones más convenientes, a base de muros de acompañamiento y aletas, que pueden ser de fábrica y de hormigón armado.

En la solución de muros de acompañamiento proyectamos para enlazar con el tramo el prolongar los estribos adelantándolos un poco con respecto al plano del muro, de modo que, al coronarlos por encima del nivel de las aceras, se obtengan sencillos pretiles que marquen entrada del puente.

En los modelos de pórticos sencillos proyectamos aletas de acompañamiento que pueden ser muy interesantes en los pasos de carretera o ferrocarril, pues ahorran muros de acompañamiento (cuerpo del muro y cimientos) y transmiten un esfuerzo favorable en la cimentación de los estribos, pues compensan, en parte, los momentos correspondientes a los esfuerzos transmitidos por el tramo.

Cimentaciones.

En todos los modelos proyectamos dos tipos de cimentación: sobre zapata de hormigón armado o sobre macizo de fábrica. En el primer caso suponemos que la presión admisible no llega a 1 kg./cm.² y en el segundo a 2,5 kg./cm.²

Carlos FERNÁNDEZ CASADO,
Ingeniero de Caminos.

(Continuará.)

Algunas consideraciones sobre hormigones¹

Ensayos realizados en la presa de Terradets (Lérida).

Efecto del vibrado.

Como es sabido, no solamente la resistencia es la característica principal que hemos de buscar en las fábricas y densidad son cualidades indispensables para toda obra de carácter hidráulico, máxime tratándose de presas de embalse.

Con objeto de emplear hormigones compactos y consistentes, se ha tratado en la presa de Terradets de confeccionarlos con la cantidad indispensable de agua para que su módulo agua : cemento sea el menor posible y así aumentar también su resistencia. Esto trae consigo la obtención de hormigones bastante secos, precisando un apisonado enérgico y especial para evitar la formación de oquedades. Desde luego, por el procedimiento general de apisonado, el hormigón hubiera sido de difícil y laboriosa colocación en obra, y lo más probable es que hubiéramos tenido bastantes irregularidades en el mismo. Esto se ha evitado, apisonando el hormigón con vibradores — pervibrado o vibrado superficial — que da lugar a un movimiento lento pero general en toda la masa y por los desplazamientos relativos de todos

sus elementos hace disminuir todo lo posible los huecos.

Con la finalidad de ver hasta qué límites pueden generalizarse las ventajas del vibrado mecánico, hemos hecho en el laboratorio de Terradets amplias pruebas sobre hormigones muy distintos de consistencia y con relaciones agua : cemento muy diferentes, y el resultado de ellas nos ha dado el convencimiento absoluto de las ventajas que aporta a la resistencia e impermeabilidad de los hormigones más corrientemente empleados.

En efecto; se comprobó que todo hormigón sometido al vibrado mecánico gana en compacidad y resistencia siempre que su por ciento de agua no sea ni muy reducido ni excesivo. En el primer caso, el vibrado no es suficiente para desplazar los agregados del lugar donde en un principio cayeron, por lo que, en consecuencia, después de trabajada la masa, aun quedarán en ella espacios llenos de agua, que más tarde, al ser ésta absorbida, se convertirán en oquedades con perjuicio para la debida compacidad. En este caso, resulta más efectivo acompañar el vibrado de un enérgico apisonado a mano para comprimir la masa y expulsar el agua sobrante. Esto más bien se refiere a los vibradores laterales que actúan sobre los encofrados, ya que en los que actúan

¹ Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, número 17, de 1936.