

## CAPÍTULO III

---

### MODELOS OFICIALES DE PUENTES

§ I.—**Para caminos vecinales.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.

§ II.—**Para carreteras de tercer orden.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.—Pliegos de condiciones facultativas.

§ III.—**Para ferrocarriles de vía ancha.**

Tramos rectos.—Tramos en arco.—Pliego de condiciones facultativas.

§ IV.—**Ejemplos de algunos puentes construídos con modelos oficiales.**

Sobre el río Andarax (Almería).—Sobre el Guadarrama (Toledo).—Sobre el Guardal (Granada).—Sobre el Tajo (Cáceres).—Viaducto de Gaznata (Avila).—Sobre el Júcar (Valencia).

§ V.—**Conclusiones.**

Ya dijimos en el tomo III, pág. 99, que la Dirección general de Obras públicas, y posteriormente la Dirección general de Ferrocarriles, habían estimado conveniente, y hasta casi necesario, tener sus *modelos oficiales* de tramos rectos y en arco, en hormigón armado y metálicos, para sus caminos vecinales, sus carreteras de tercer orden y sus ferrocarriles de vía ancha.

Los de caminos vecinales y carreteras fueron encomendados a los profesores de la Escuela de Caminos Sres. Zafra y Mendizábal y

al autor de este libro, y los de ferrocarriles a una Comisión presidida por el autor y de la que formaron parte los Sres. Mendizábal y Peña.

Las luces escogidas entre 10 y 50 m. fueron las *teóricas*, es decir, las luces de cálculo para los tramos rectos y las de las curvas directrices para los arcos.

Describiremos cada grupo de estos modelos, pero al mismo tiempo no hemos de ocultar los defectos que la ejecución de los mismos ha evidenciado, si bien reconociendo que su aplicación general en todas las provincias para los caminos vecinales y carreteras ha producido grandes economías al Estado, no sólo por el ahorro de trabajo y tiempo de sus ingenieros, sino por la reducción considerable de sus gastos de construcción (1).

### § I.—PARA CAMINOS VECINALES (2).

**Tramos rectos** (2).—Ya en el tomo I, pág. 198, al ocuparnos de las *Pequeñas obras*, reseñamos los modelos inferiores a 10 metros de luz.

Ahora nos ocuparemos de los puentes, a partir de esa luz.

Con vigas llenas: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 22 m. de luz.

Con vigas aligeradas: de 25, 28, 32 y 36 m.

Las sobrecargas de cálculos adoptadas por el Sr. Zafra fueron las siguientes:

1.<sup>a</sup> Sobrecarga uniformemente extendida a razón de 400 kgs. por metro cuadrado.

2.<sup>a</sup> Apisonadora de 20 toneladas repartidas en dos ejes, cargadas con 12 y 8 toneladas a 3,875 m. de distancia (3).

(1) Estas iniciativas tan fecundas como meritorias, y el haber conseguido su realización, se deben, respectivamente para los tres grupos de modelos, a los ingenieros D. Manuel Maluquer, en caminos vecinales; a D. Román Ochando, en carreteras, y a D. Antonio Faquineto, en ferrocarriles.

(2) Fueron estudiadas por nuestro malgrado e ilustre compañero D. Juan Manuel Zafra, con la colaboración de los ingenieros D. Alfonso Peña, D. Ramón M. Serret y D. Jacinto González. Esta colección fué aprobada por Real orden de 31 de mayo de 1921.

(3) Las máximas cargas unitarias resultaron: de 43,7 kg. por centímetro cuadrado, para el acero, en el tramo de 13 m.; de 1.033 kg. por centímetro cuadrado, para el acero, en el tramo de 13 m.

Las figuras 89 y 90 dan idea de estos tipos de modelos. Como se ve, la calzada y andenes están separados por bordillos salientes; aunque para tramos de *vía única* no ofrecen estos bordillos inconvenientes apreciables, el autor considera preferible disponer los andenes por encima de la calzada, por las razones que explicamos en el capítulo I.

Otro defecto que la experiencia ha evidenciado en la práctica es que las barras para vigas con diámetro superior a 35 milímetros, que el Sr. Zafra proyectó para los tramos de 11,50 m. de luz, en adelante, y que llegan hasta 52 mm. de diámetro, son difíciles de manejar, y *sobre todo de doblar* en sus extremos. Es, pues, preferible reducir los diámetros a un máximo de 35 milímetros, a trueque de aumentar el número de barras.

Pero el autor considera aún preferible, y así lo ha hecho en muchos casos, aumentar la altura de las vigas 15 ó 20 por 100, lo que

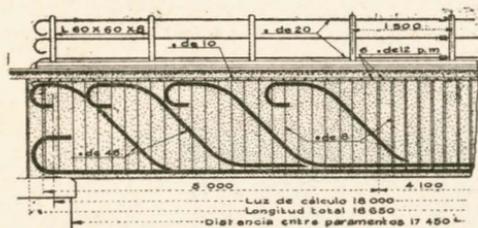


Fig. 90.

no influye en el desagüe ni en el costo de los tramos, porque el aumento de hormigón se economiza en acero.

También al autor le parecen innecesarios los chaflanes dobles entre el nervio y forjado; se obtienen análogos efectos con un chaflán único, que simplifica sensiblemente el molde y sus operaciones de montaje y descimbrado.

Las barandillas de estos modelos y los empalmes de las barras largas con manguitos, en apariencia sencillos y económicos, resultan complicados y caros; nos parecen preferibles barandillas empotradas directamente en los andenes, así como el empleo de barras de una pieza o empalmadas con las precauciones que se detallan en el pliego de condiciones facultativas generales para estos tramos (artículo 9.º) (1).

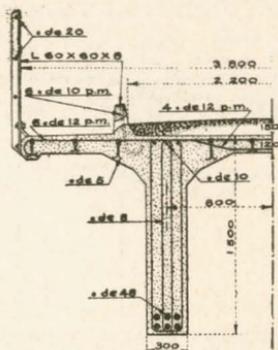


Fig. 89.

(1) Publicadas en nuestro tomo I, pág. 279.

Por último, las vigas aligeradas que el Sr. Zafra proyectó para los tramos de luces comprendidas entre 25 y 36 m. (figs. 91 y 92) adolecen de los defectos que enumeramos también en el capítulo I.

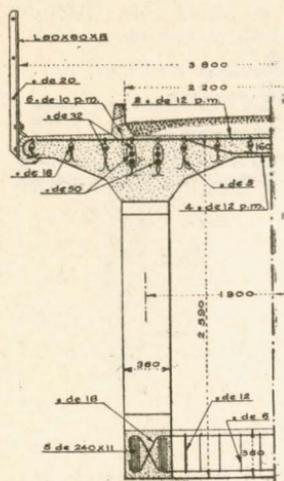


Fig. 91.

Consideramos, pues, preferibles las vigas macizas para tramos rectos inferiores a 30 m. y para los de luz superior a 30 metros, *si no fueran posibles los arcos*, que suelen ser más económicos de materiales, podría emplearse la disposición que nuestro compañero D. Alfonso Peña ha proyectado para los tramos rectos de ferrocarriles y que describimos en el § III de este capítulo.

**Tramos en arco.**—En 29 de abril de 1922, la Dirección general de Obras públicas encomendó al autor y al Sr. Mendizábal (D. Domingo) la redacción de análogos modelos y, respectivamente, para arcos de hormigón armado y tramos metálicos.

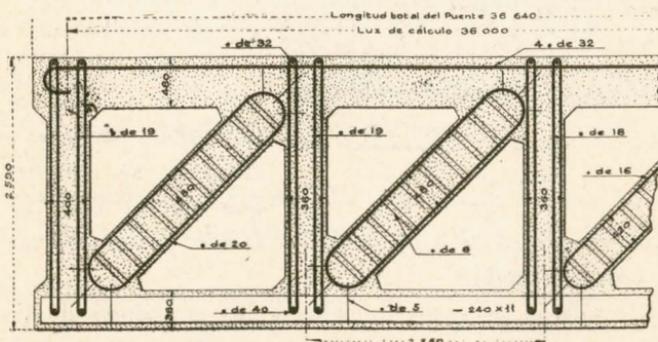


Fig. 92.

Aquí sólo nos ocuparemos de los tramos en arco de H. A. (1). Presentamos estos proyectos en 31 de diciembre de 1931.

(1) Estudiados por el autor con la muy inteligente colaboración del ingeniero D. José Barcala.

Aun no han sido aprobados oficialmente, que sepamos, pero, por si lo fueran algún día, parécenos oportuno indicar sus características.

La facilidad de construcción que habíamos comprobado en nuestros puentes de Golbaro y Ganzo (1), que merced a sus armaduras rígidas permitieron su montaje con ligerísimos andamios, nos impulsó a adoptar una disposición parecida, si bien sustituyendo las viguetas en doble T en aquellos puentes empleadas, por cerchas con celosía de angulares, que posteriormente aplicamos.

Las luces estudiadas para estos modelos fueron:

Con rebajamientos de  $1/10$ : de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36 y 40 m.

Con rebajamientos de  $1/4$ : de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 y 36 m.

Con rebajamientos de  $1/2$ : de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28 y 32 m.

Las disposiciones generales adoptadas para los tres tipos de rebajamiento fueron las de la figura 93.

El ancho de cada uno de los dos arcos fué de 0,50 m., y constante para todas las luces y rebajamientos (figs. 94, 95 y 96).

Las curvas directrices elegidas para todos los arcos son parábolas de 2.º grado, porque los tanteos que hicimos con curvas más complicadas nos demostraron que para las luces estudiadas las diferencias con la envolvente de todas las curvas de presiones no eran prácticamente apreciables.

En los arcos rebajados al  $1/4$  y al  $1/2$  empalmamos las cur-

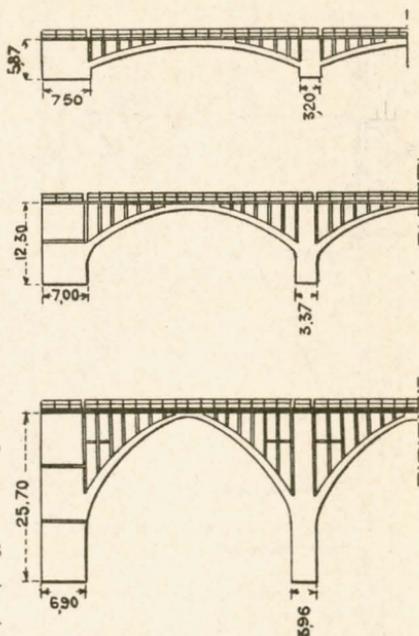


Fig. 93.—Tipos de rebajamiento de los arcos a  $1/10$ ,  $1/4$  y  $1/2$ .

(1) Reseñados en el capítulo anterior.

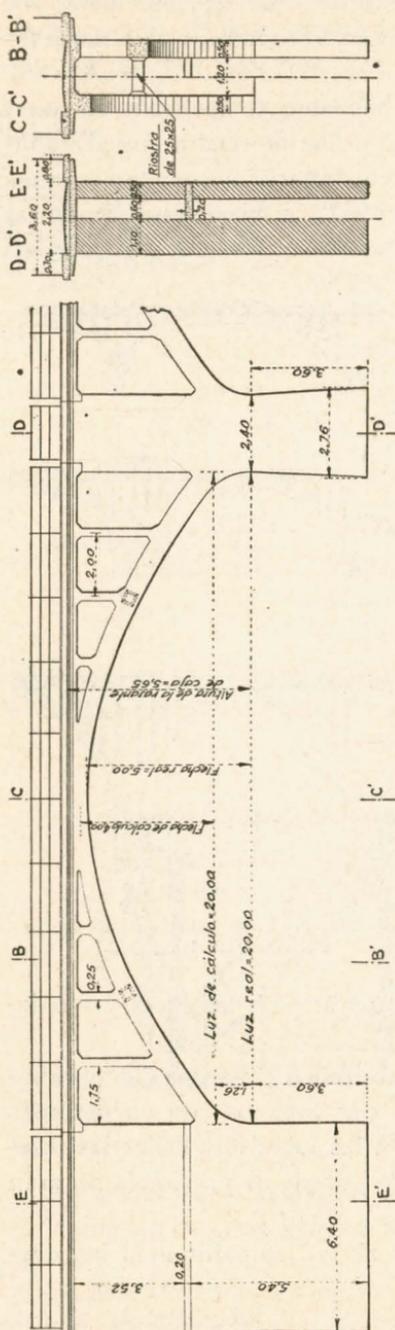


Fig. 94.—Modelos para caminos vecinales.

vas de intradós con pequeñas curvas circulares tangentes a las pilas.

Se calcularon los espesores de pilas y estribos para unas rasantas relacionadas con sus luces.

El grueso de tabiques de tímpanos (0,25 m.) y su distancia entre ejes (2 m.), así como la disposición de largueros, forjado, andenes y barandillas, son *constantes y comunes a todas las luces y rebajamientos* (figura 96).

Las hipótesis de sobrecarga que utilizamos para estos modelos fueron iguales a las propuestas por el Sr. Zafra en sus tramos rectos (1).

## § II.—PARA CARRETERAS DE TERCER ORDEN

**Tramos rectos.**—La Dirección general de Obras públi-

(1) Los trabajos máximos que resultaron en nuestros modelos fueron de 65,7 kg. por centímetro cuadrado para el hormigón en el tramo de 40 m. rebajado al 1/10, y de 1.197,1 kg. por centímetro cuadrado para el acero de las armaduras del tablero común a todos los modelos. Las armaduras rígidas de las bóvedas tienen por máxima carga la de 889,9 kg. por centímetro cuadrado.

cas encomendó asimismo en 26 de junio de 1920 a los profesores de la Escuela D. Juan Manuel Zafra, D. Domingo Mendizábal y al autor la redacción de modelos para carreteras de tercer orden, en tramos rectos de H. A. y metálicos y arcos de H. A.

Convinimos previamente en estudiar las hipótesis de sobrecarga más desfavorables, a cuyo efecto el Sr. Mendizábal hizo un minucioso estudio (1), que aceptamos para los puentes de H. A.

Se resumen como sigue:

1.<sup>a</sup> Sobrecarga uniformemente extendida a razón de 450 kilogramos por metro cuadrado.

2.<sup>a</sup> Sobrecargas móviles.

Tren tipo núm. 1. La apisonadora de

(1) Cumplidamente justificado en su notable trabajo *Estudio de una nueva instrucción para el cálculo de tramos metálicos*.

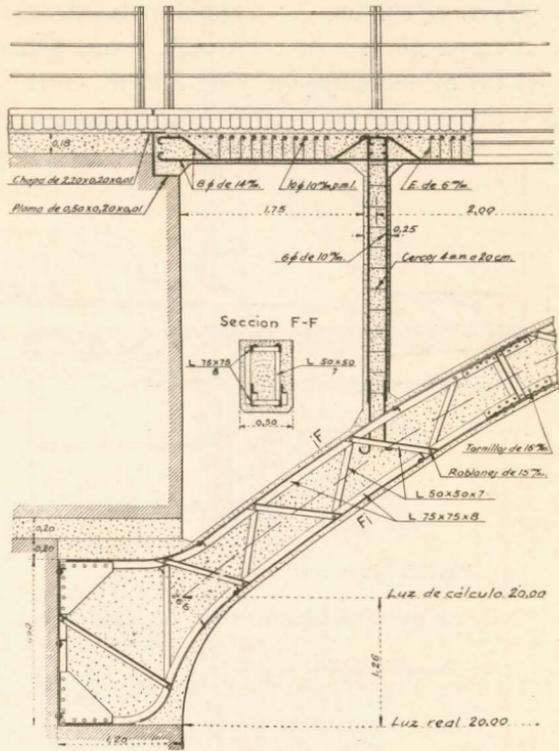


Fig. 95.—Modelos para caminos vecinales.

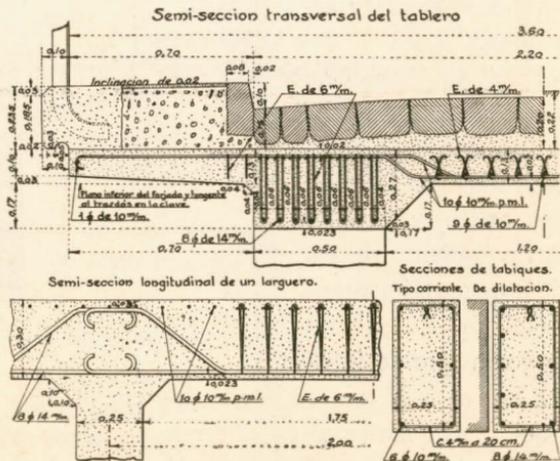


Fig. 96.—Caminos vecinales.

20 toneladas que sirvió de tipo a los tramos para caminos vecinales.

*Tren tipo núm. 2.*—Tres tranvías de cuatro ejes cada uno, con una carga por eje de 6.156 kgs. y una separación de 1,20 m. entre ejes del mismo carretón, y de 7,10 m. entre los ejes contiguos de los dos carretones del mismo coche. Longitud total de un tranvía: 15,50 m. Separación entre coches: 0,50 m. Vía: 1,45 m. Ancho total: 2 m.

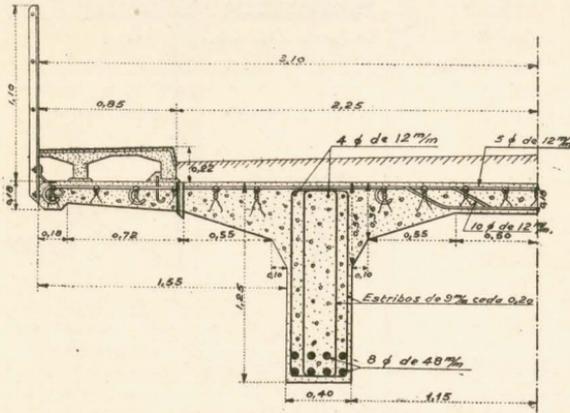


Fig. 97.—Para carreteras de tercer orden.

Con vigas llenas: luces de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,25, 8,50, 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20 y 22 m.

Con vigas aligeradas: luces de 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Asimismo, propuso idénticas disposiciones de vigas, tableros y armaduras.

Pero la Dirección general, aleccionada por por los inconvenientes observados con los bordillos salientes, ordenó el levantamiento de los andenes, cumplimentándolo el Sr. Zafra con la sección que se indica en la figura 97, que es hoy el tipo oficial.

Iguales observaciones que las que consignamos al describir los modelos análogos para caminos vecinales debemos repetir aquí, respecto al excesivo grueso de las

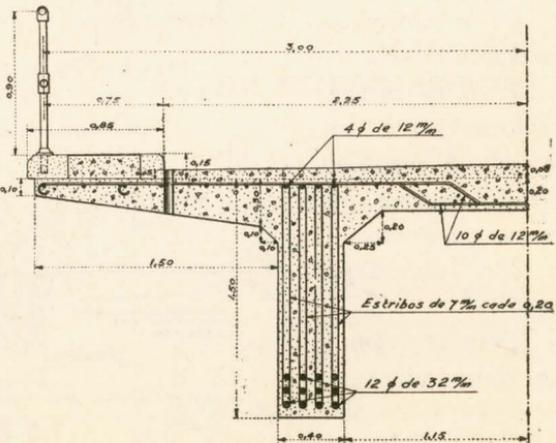


Fig. 98.—Modelos del autor para Marruecos y Guinea.

barras de vigas, que desde el tramo de 8,50 m. de luz excede de 36 mm., para alcanzar 52 mm. en los de 22 m. de luz.

Para evitarlo, y habiéndonoslo autorizado los ingenieros de la Dirección de Marruecos y Guinea, donde se están aplicando estos tipos en gran número, el autor ha simplificado los modelos Zafra en la forma que se aprecia comparativamente en la figura 98.

En este tipo, de 14,50 m. de luz teórica, *con calzada de hormigón* de 0,08 m. sobre el forjado corriente (1), con un aumento de 0,25 m. de altura a las vigas, conseguimos sustituir las ocho barras de 48 mm., que pesan 114 kilogramos por metro lineal, por 12 barras de 32 mm., que pesan 76 kilogramos. Resulta una sensible economía (2).

A partir de 25 m. de luz, los modelos oficiales de puentes para

(1) En Guinea sólo circulan autos y camiones; en Marruecos hay muy pocos coches y carros de tracción animal.

(2) Suponiendo precios de una peseta por kilogramo de acero y 100 pesetas metro cúbico de hormigón, la economía de acero por metro lineal de puente es de  $2 \times 38 = 76$  pesetas, mientras que el aumento de altura de las dos vigas sólo cuesta:  $2 \times 0,25 \times 0,40 \times 100^3 = 20$  pesetas.

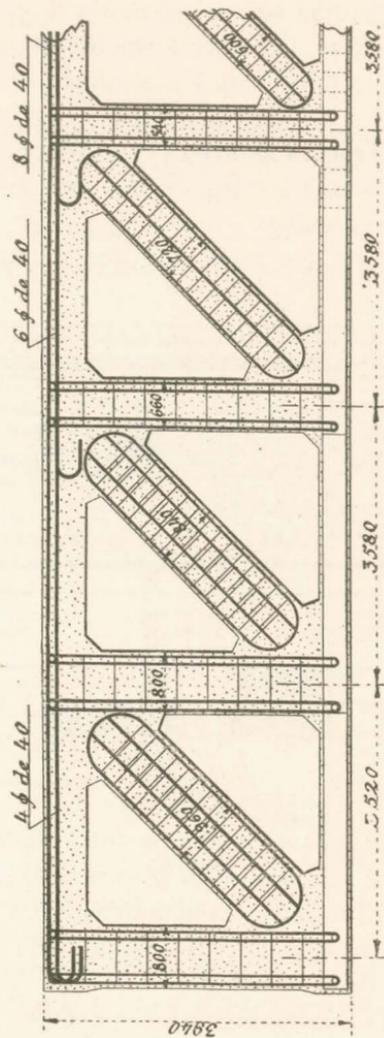


Fig. 99.—Para carreteras de tercer orden.

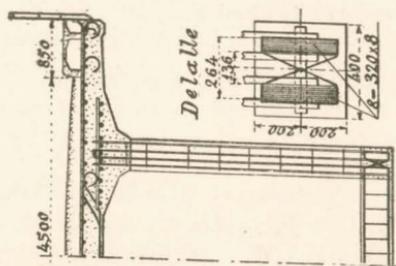


Fig. 99 bis.

carreteras tienen sus vigas aligeradas (figs. 99 y 99 bis) de igual tipo que las anteriormente descritas para caminos vecinales y, por lo tanto, con los inconvenientes análogos que ya enumeramos.

**Tramos en arco (1).**—Adoptamos para los modelos de carreteras idénticas disposiciones que antes describimos para los de caminos vecinales.

Los dos arcos son de un ancho constante de 1 m. (figs. 100

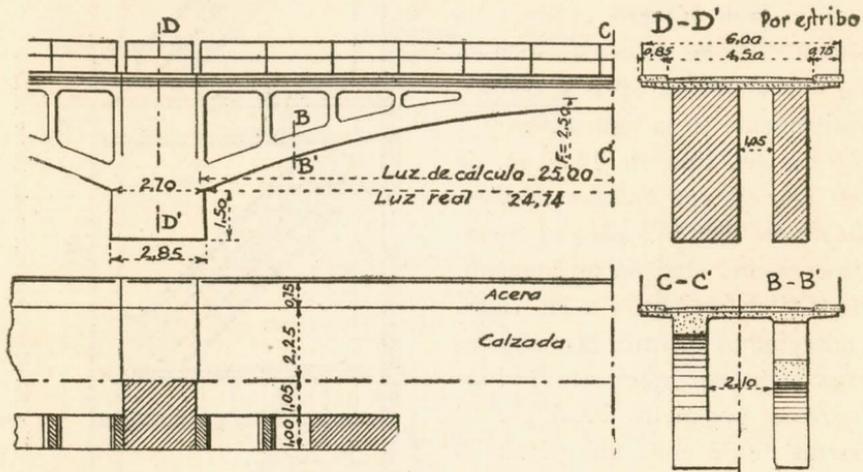


Fig. 100.—Para carreteras de tercer orden.

y 101); es decir, que la suma de las dos bóvedas es la 1/3 parte del ancho que damos al puente entre barandillas (6 m.).

El tablero y tabiques son iguales para todos los modelos (fig. 102).

Los dispositivos de dilatación descritos en el tomo III, pág. 208, son también idénticos a los de caminos vecinales.

Las luces proyectadas fueron:

Arcos rebajados a 1/10: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Arcos rebajados a 1/4: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36 y 40 m.

(1) Colaboraron con el autor en la redacción de estos modelos los ingenieros D. Luis Jara, para los arcos rebajados a 1/5; D. José Barcala, para los rebajados al 1/10, y D. José Luis Orduña, para los rebajados a 1/2.

Arcos rebajados a 1/2: de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25, 28 y 32 m.

Como en los modelos en arco para caminos vecinales, y por idénticas razones, elegimos para las curvas directrices parábolas de 2.º orden.

Las pilas se supusieron macizas de mampostería u hormigón, con la anchura necesaria para apoyar simultáneamente los dos arcos.

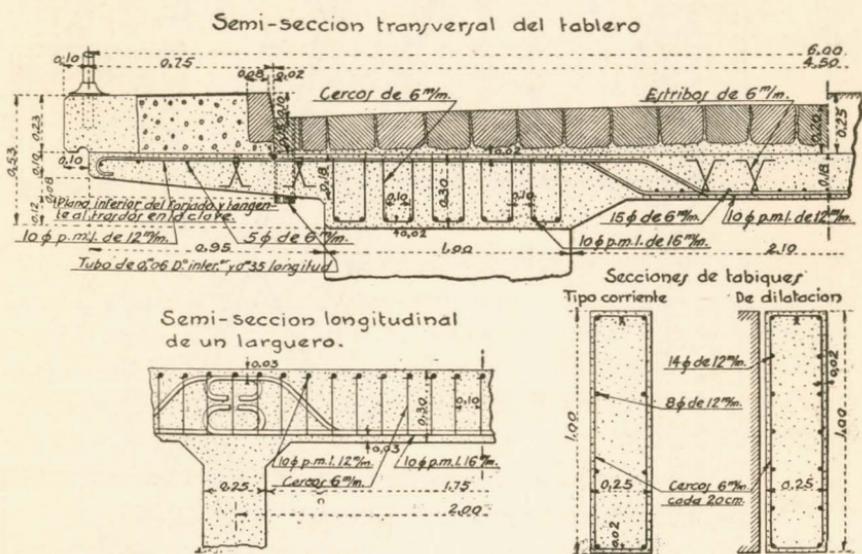


Fig. 101.—Para carreteras de tercer orden.

Los estribos, en cambio, se suprimieron, sustituyéndolos por muros en vuelta con longitud y altura suficiente para resistir los empujes de los arcos (1).

**Pliego de condiciones facultativas.**—Para la ejecución de estos modelos de puentes, el ingeniero Sr. Peña y el autor redactaron tres pliegos de condiciones facultativas. Uno, de las generales aplicables a toda clase de obras de H. A.; otro, de particulares para los tramos rectos, y un tercero, para los arcos.

(1) Lo justificamos en el tomo III, pág. 114.



Todos ellos fueron aprobados por la Dirección general de Obras públicas en 1.º de diciembre de 1921 (1).

Aparte de las condiciones corrientes, debemos fijarnos en que las dosificaciones indicadas de tramos y arcos son de 800 litros de grava, 400 de arena y la cantidad de cemento que corresponda al elemento de obra de que se trate (artículo VI del pliego de condiciones facultativas generales); pero se prescribe que las dosificaciones definitivas se determinen por experimentación, al objeto de conseguir la mayor capacidad posible.

Las riquezas de hormigón que se fijan son las siguientes:

*Para tramos rectos:* 300 kgs. de cemento por metro cúbico de hormigón en obra para los de alma llena y 350 kgs. para los de alma calada.

*Para los tramos en arco:* 300 kgs. de cemento por metro cúbico de hormigón en obra para los tabiques y los tableros y 350 kilogramos para las bóvedas.

Los hormigones para cimientos y alzados de estribos y pilas, tímpanos, macizos y andenes se compondrán de 200 kgs. de cemento, 500 litros de arena y un metro cúbico de arena. Los morteros para mamposterías de cimientos y rejuntados de paramentos serán de 250 kgs. de cemento por metro cúbico de arena. En mampostería de alzados de pilas y estribos, el mortero se compondrá de 200 kgs. de cemento por metro cúbico de arena.

En estos pliegos de condiciones se dan reglas para la preparación de los moldes y de las armaduras y se detallan las operaciones y cuidados que han de seguirse y observarse en el moldeo del hormigón, en el desencofrado y en el descimbramiento. Se prescribe la manera en que han de ser realizadas las pruebas de los tramos, y se indican las máximas flechas que deberán producirse y en la forma y cuantía en que deben producirse y desaparecer.

---

(1) Se han reproducido en los Apéndices núms. 2, 5 y 6 del primer tomo de este libro, págs. 275, 308 y 315, respectivamente.

### § III.—PARA FERROCARRILES DE VIA ANCHA (1).

**Reducción del balasto.**—Ya dijimos en el tomo III, pág. 80, los criterios diferentes que imperan a este respecto.

Pero con motivo de la encuesta que hubimos de abrir para documentar a la Comisión que el autor presidía para la redacción de estos Modelos oficiales, hubimos de convencernos de que si bien existen algunos puentes en los que las traviesas se apoyan directamente sobre los forjados, la conservación de la vía en estos casos obliga a sujeciones y cuidados que es preferible evitar.

En el Congreso de Ingenieros de Puentes celebrado en Viena en septiembre de 1928 y en el que el autor planteó la cuestión, los especialistas extranjeros también se pronunciaron en favor del balasto, cuyo volumen puede reducirse, sin embargo.

En vista de ello, la Comisión adoptó la disposición de las figuras 103 y siguientes para la sección transversal de todos estos modelos.

Los bordillos de H. A. sujetan, no sólo el balasto, sino que impiden los movimientos transversales de las traviesas; el balasto debe constituirse de gravillas con una primera capa de 17 cm., suficiente para una buena repartición de presiones con traviesas de tipo corriente; el peso muerto del balasto se reduce así por metro lineal: de 3.200 kgs. en plena vía, a 2.800 kgs. sobre los tramos.

**Tramos rectos.**—Esta colección, al igual de sus análogas para caminos vecinales y para carreteras, comprende obras pequeñas, a partir de 1 m. de luz y tramos rectos de alma llena y aligerada.

Los modelos estudiados y aprobados en la actualidad son los siguientes:

Losas de 1, 2, 3, 4 y 5 m. de luces teóricas. (R. O. de 15 de febrero de 1928.)

(1) Redactados por una Comisión presidida por el autor, con los profesores de la Escuela D. Domingo Mendizábal y D. Alfonso Peña Boeuf.

Colaboraron con el autor: D. José Barcala, para los arcos de hormigón, rebajados al 1/4 y al 1/2, de 10 a 28 m.

Con el Sr. Mendizábal, para los tramos metálicos, los ingenieros D. Francisco Moneva y D. Rafael Ceballos.

Con el Sr. Peña, para los tramos y arcos 1/10, D. Jacinto González y don Amalio Hidalgo.

Tramos de alma llena de 6, 7,50, 8,50, 10, 11,50 y 13 m. (R. O. de 15 de febrero de 1928.)

Tramos de alma aligerada de 14,50, 16, 18 y 20 m. (R. O. de 9 de diciembre de 1930.)

En las figuras 103 a 105 se representan, respectivamente, la sección y el alzado de las losas y de los tramos de alma llena, que son de tipos corrientes.

En cambio, los modelos de luces superiores a 13 metros hasta 20 metros llevan alma aligerada, pero de diferente manera que los tramos para carretera y para caminos vecinales. En éstos los aligeramientos interesan todo el ancho del alma, y en los de ferrocarril de que nos ocupamos, quedan solamente rebajados por ambas caras (fig. 106).

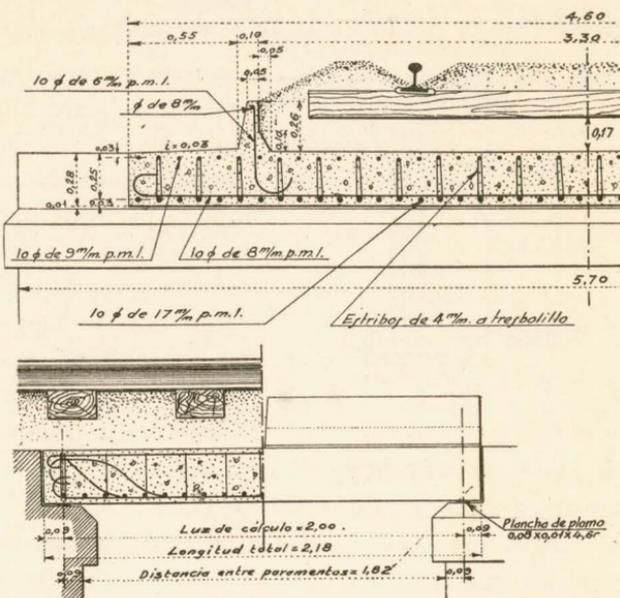


Fig 103.—Modelos de losas.

Con esta solución se llega a una sección de forma de carril invertido

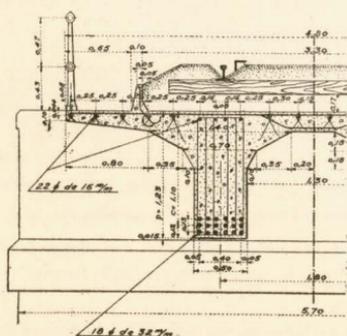


Fig. 104.—Tramos rectos.

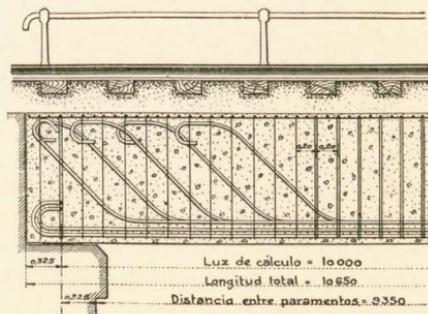


Fig. 105.

tido, en el que el patín representa el forjado. Los moldes en madera y mano de obra son mucho más económicos que en la viga aligerada de montantes y diagonales, y como la estructura metálica es menos complicada, su montaje y el apisonado del hormigón resultarán también más baratos.

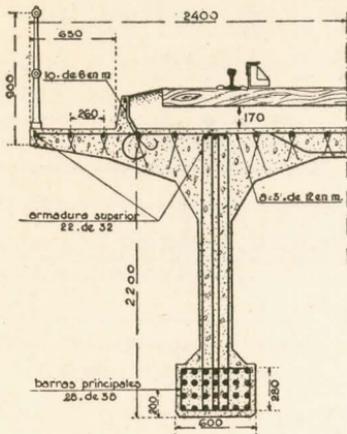


Fig. 106.

Observemos que en los tramos rectos para caminos vecinales y para carretera las vigas aligeradas comienzan, como ya se ha dicho, en la luz de 25 m., y en cambio en los de ferrocarril lo son a partir de 14,50. La razón ha sido la necesidad de disminuir, aun para luces tan pequeñas, el enorme peso propio a que da lugar la importancia de las sobrecargas consideradas.

Esta misma causa ha sido el motivo de que no se propongan tramos rectos de H. A. de más de 20 m. Por encima de esta luz deberán aplicarse los arcos o los tramos metálicos (1).

Los trenes tipos de sobrecargas que se han considerado para los modelos que describimos, han sido los mismos que fija la vigente "Instrucción para la redacción de proyectos de tramos metálicos", aprobada en 24 de septiembre de 1925, y de la que es autor D. Domingo Mendizábal (2).

(1) La colección de tramos metálicos comprende modelos de vigas rectas con tablero superior e inferior para simple vía, para cada una de las luces teóricas siguientes: 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 metros.

Para doble vía, el Sr. Mendizábal ha estudiado tramos de 32, 40 y 45 metros para tablero superior e inferior, y además un tramo de 50 m. para tablero inferior,

(2) Los apartados a y b) del artículo 2.º de esta Instrucción prescriben:

"a) Para el cálculo estático de los tramos metálicos para vía ancha se utilizará un tren tipo compuesto de dos locomotoras con sus ténדרes, colocadas en cabeza y en sentido normal de marcha, seguidas de un número indefinido de vagones cargados.

Las dimensiones y pesos de las máquinas, ténדרes y vagones se indican en el cuadro siguiente:

**Tramos en arco de hormigón en masa** (figs. 107 a 109.)—Se han calculado con las sobrecargas antes citadas y para las luces y rebajamientos siguientes:

Arcos rebajados a 1/4: Luces teóricas de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20, 22, 25 y 28 m.

Arcos rebajados al 1/2: Luces de 10, 11,50, 13, 14,50, 16, 18, 20 y 25 m.

Fueron aprobados por R. O. de 9 de diciembre de 1930.

No se han propuesto tramos en arco de hormigón en masa con

CARACTERÍSTICAS DE	MÁQUINA	TÉNDER	VAGÓN CARGADO
Longitud total.....	10,00 m.	8,00 m.	10,00 m.
Número de ejes.....	5	4	4
Separación de las cabezas de los topes a los ejes extremos. . . . .	1,50 m.	1,50 m.	1,00 m.
Separación entre los ejes primero y segundo. . . . .	2,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
Separación entre los ejes segundo y tercero. . . . .	1,50 m.	2,00 m.	5,00 m.
Separación entre los ejes tercero y cuarto. . . . .	1,50 m.	1,50 m.	1,50 m.
Separación de los ejes cuarto y quinto. . . . .	1,50 m.	—	—
Carga del eje bisel. . . . .	12.000 kg.	—	—
Carga de los otros ejes. . . . .	22.000 »	18.000 kg.	16.000 kg.
Peso total. . . . .	100.000 »	72 000 »	64.000 »
Peso medio por metro lineal. . . . .	10.000 »	9.000 »	6.400 »

Para el cálculo de los diversos elementos de las vigas principales se colocará el tren tipo en la posición que produzca efectos más desfavorables en el elemento que se considere.

Para los tramos de doble vía se utilizará la hipótesis de que pasen sobre el mismo dos trenes tipos en el mismo sentido, colocados ambos en la posición más desfavorable.

Podrán ser sustituidos en los cálculos las máquinas y vagones constituyentes del tren tipo por material móvil en servicio en la red en la que se encuentre el tramo que se considera, siempre que los efectos producidos por este material sean iguales o más desfavorables que aquéllos, en los diversos elementos del tramo.

Se podrá sustituir el tren tipo descrito por una sobrecarga virtual, uniformemente repartida, siempre que ésta produzca efectos superiores o, a lo menos, iguales a los producidos por aquél.

b) Para el cálculo estático de los tramos metálicos de pequeñas luces se

rebajamientos de  $1/10$ ; las tensiones que en ellos se producirían, sobre todo por los efectos de la temperatura, nos obligarían a armarlos muy fuertemente.

En estas condiciones, la Comisión consideró que para luces infe-

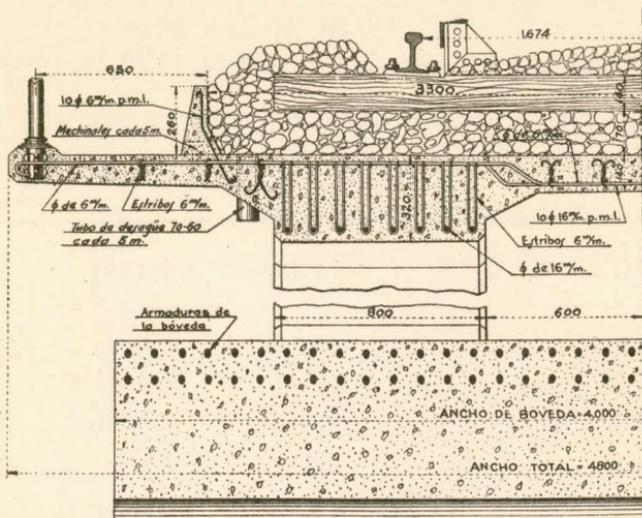


Fig. 107.—Arcos de hormigón en masa rebajados al  $1/4$ .

riorés a 22 m., si la rasante de la línea no permitiera proyectar arcos rebajados al  $1/2$  o al  $1/5$ , convendrá adoptar la disposición de los tramos rectos antes descritos.

A partir de 22 m. de luz, los arcos rebajados al  $1/10$  son ya de

utilizará, como sobrecarga móvil, tres ejes separados 1,50 m. y con un peso por eje de 26,0 toneladas, siempre que los efectos producidos por éstos sean mayores que los que origina el tren tipo descrito en el párrafo precedente.

Esta sobrecarga, compuesta por los tres ejes descritos, se utilizará igualmente para el cálculo de todos los elementos de los pisos de los tramos metálicos, cualquiera que sea su luz de cálculo.

Tanto en uno como en otro caso, se situarán aquellos ejes en la posición que produzcan efectos más desfavorables al elemento que se considera.,

Como se ve, estas sobrecargas son preceptivas solamente para los tramos metálicos. Para los de fábrica o de H. A. o en masa no hay nada reglamentado en nuestro país. Sin embargo, es lo lógico que los tramos metálicos no tengan una resistencia superior, y como por otra parte los trenes tipos que acaban de indicarse son por ahora extraordinariamente fuertes, no se estimó que procedía considerar otros para el cálculo de los modelos que se describen.

H. A. y pertenecen a la solución de este tipo, que luego describiremos.

En cuanto a los arcos de hormigón en masa al  $1/4$  y al  $1/2$ , hemos adoptado para sus tableros y tabiques, y después de muchos tanteos, igual estructura (fig. 107) que la que empleamos para los modelos de carreteras y caminos vecinales antes descritos.

Los tabiques de  $0,80 \times 0,25$  están a 2 m. de eje a eje en todos estos modelos. Así es que los largueros y forjados son también iguales.

Pero en cambio los arcos de estos Modelos *no son arcos gemelos*, como en los modelos de carreteras y caminos vecinales, sino que la *bóveda es continua*, con un ancho constante de 4 m. para todos los modelos estudiados.

Esta continuidad es otro de los resultados de la enorme importancia de las sobrecargas admitidas (1) y de las hipótesis hechas sobre las variaciones de volumen del material. Se ha querido proyectar unos Modelos de gran seguridad y de gran masa para disminuir los efectos dinámicos de los trenes, cuyas velocidades cada vez son mayores.

Los tanteos realizados a base de bóvedas gemelas daban lugar a cargas unitarias máximas imposibles de resistir por el hormigón sólo, y además se producían grandes tensiones que, al contrarrestarlas con las armaduras que imponían, hacían de las bóvedas verdaderas piezas de H. A. Hubo, por lo tanto, de aumentarse la resistencia incrementando, no solamente los espesores, sino también los anchos.

Decidida la continuidad de la bóveda, se necesitó llegar a los 4 metros, lo que representa un ancho doble del total de los 2 m. que tienen los Modelos para carretera. En éstos las bóvedas ocupan un 33 por 100 del ancho total del tramo, y en los de ferrocarril ha habido que llegar al 87 por 100.

En realidad los Modelos en arco rebajados al  $1/4$  no son de hormigón en masa.

Sus bóvedas, aunque con pequeñas cuantías, necesitan algunas ar-

---

(1) En el modelo mayor de los aprobados—28 m. rebajado al  $1/4$ —el peso propio es de 536 toneladas y la sobrecarga máxima puede llegar a 314 toneladas. En el menor—10 m. rebajado al  $1/4$ —el peso propio es de 116 toneladas y la sobrecarga máxima puede llegar a 123 toneladas.

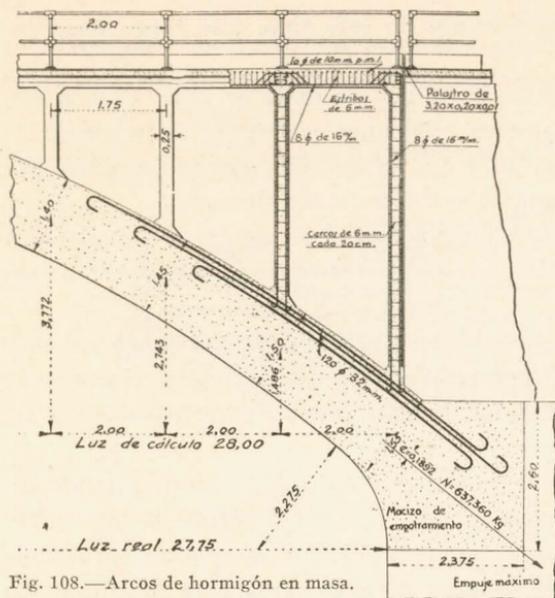


Fig. 108.—Arcos de hormigón en masa.

maduras para resistir a las tensiones que en ellas producen los efectos de temperatura (figs. 107 y 108).

En cambio, en los arcos rebajados al  $1/2$  no es necesario armar ninguno de los arcos, porque con los espesores adoptados y el peralte de su perfil no se producen en ellos tensiones sensibles (fig. 109).

Las curvas directrices de estos arcos

que se justifican en las Memorias respectivas son:

Parábolas de 2.º grado en los arcos rebajados a  $1/4$ .

Parábolas de 4.º grado en los arcos rebajados a  $1/2$ .

### Tramos en arco de H. A.

Esta colección consta de 13 modelos rebajados teóricamente al  $1/10$  y al  $1/4$ , aprobados por R. O. de 9 de diciembre de 1930.

Los rebajados al  $1/10$  tienen las siguientes luces teóricas: 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45 y 50 m.

Los rebajados al  $1/5$  ( $1/4$  real) son de: 25, 28, 32, 36 y 40 m.

La estructura de estos modelos es la representada por las figuras 110 y 111, en

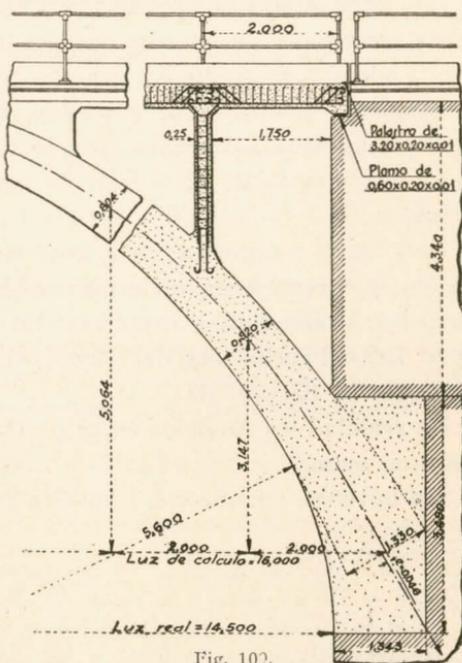


Fig. 109.

los que, como se ve, para no aumentar con exceso las armaduras de intradós en los arranques o el grueso de las bóvedas, ha sido preciso añadir unos zunchos en espiral.

La distancia entre ejes de tabiques es de 2 m., y el ancho de las bóvedas de 4 m. en todos los modelos, menos en los siguientes:

Hubo que aumentar a 3 m. la distancia entre los tabiques en los arcos de luces de 32 metros en adelante.

En los arcos rebajados al 1/10, a partir de 36 m. de luz, el ancho de las bóvedas necesitó aumentarse progresivamente hasta alcanzar 4,80 m. en el arco de 50 metros.

Aunque los modelos se han proyectado con armaduras flexibles, se ha previsto el caso en que pudiera convenir substituirlos por armaduras rígidas, y a ese efecto el autor de estos proyectos, D. Alfonso Peña, indica en su Memoria las pequeñas modificaciones que habrían de introducirse en el cálculo para determinar las nuevas secciones rígidas necesarias para sostener el peso de toda la bóveda o de su rosca inferior.

**Pliego de condiciones.**—Lo incluimos en este tomo como Apéndice 1.º

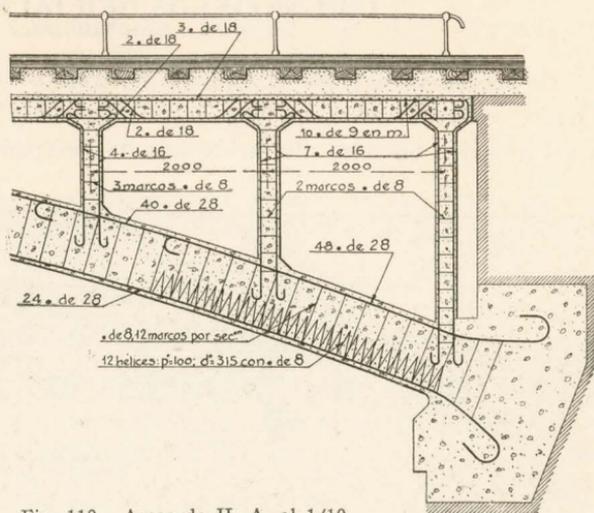


Fig. 110.—Arcos de H. A. al 1/10.

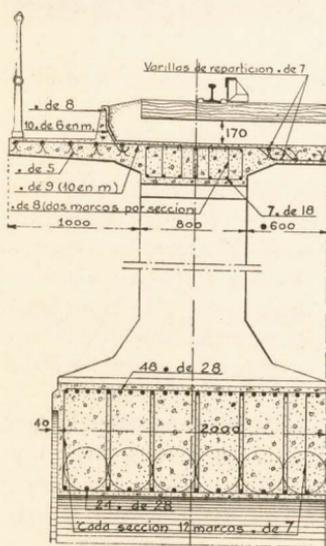


Fig. 111.

#### § IV.—EJEMPLOS DE ALGUNOS PUENTES CONSTRUIDOS CON MODELOS OFICIALES

Se acerca ya a 1.000 el número de tramos rectos o en arco para carreteras construídos en España, Marruecos y Guinea, con arreglo a los modelos oficiales que acabamos de describir (1).

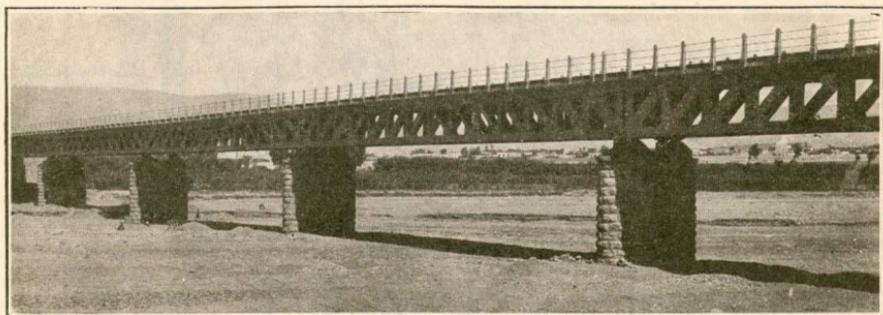


Fig. 112.—Puente de Andarax.

Citaremos algunos ejemplos:

**Puente sobre el río Andarax** (fig. 112).—Carretera de Almería a la Cuesta de los Castaños, por Níjar (Almería).

(1) En la *Revista de Obras Públicas* de 1929, pág. 258, se especifican los tramos en H. A. construídos o en ejecución a fines de 1928, con estricta sujeción a los Modelos oficiales de tramos rectos o en arco para carretera. Eran en total 829; la luz teórica de sus tramos rectos es de 5.459 m. y la luz de los de arco de 861 m. Son estas cifras la más evidente demostración de la utilidad de estos modelos oficiales, teniendo sobre todo en cuenta que sólo tenían entonces seis años de vigencia. De entonces acá se habrán construído otros muchos.

En cuanto a los puentes de ferrocarril, como sus Modelos oficiales se han aprobado recientemente y estaban ya casi todos ellos proyectados y bien estudiados, no han sido aún muy numerosas sus aplicaciones; citamos, sin embargo, el puente en construcción sobre el Guadiana, con 5 arcos de 28 m., rebajados al 1/5, para el ferrocarril de Villanueva de la Serena a Talavera, y un puente viaducto sobre el río Beas, en la segunda sección del ferrocarril de Baeza a Utiel, con 5 tramos rectos de 20 m., disposición empleada para evitar empujes oblicuos en los cimientos.

Cinco tramos de 32 m. de los modelos oficiales; sus pilas sólo tienen 1,60 m., lo indispensable para los aparatos de apoyo (1).

**Puente sobre el Guadarrama (Toledo)** (fig. 113).—Para la carretera de segundo orden de Ventorrillo a Valmojado (2).

Tres arcos de 25 m. rebajados al  $1/10$  y 11 arcos de 10 m. de hormigón en masa.

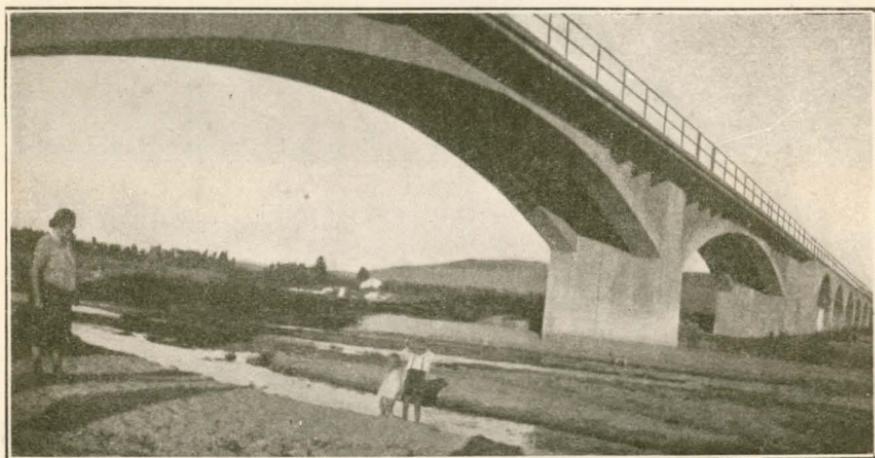


Fig. 113.—Puente sobre el Guadarrama.

**Puente sobre el río Guardal (Granada)**.—Para la carretera de Torreperejil a Huéscar (3).

La gran altura de rasante sobre el río (62 m.) aconsejó el empleo de armaduras rígidas para evitar la cimbra (fig. 114).

Se adoptó el modelo oficial de 36 m. rebajado al  $1/4$  y un tramo recto de acceso de 10 m.

**Puente de Alconetar** sobre el río Tajo (Cáceres) para la carretera de Salamanca a Cáceres (fig. 115).

(1) El autor de este proyecto, D. José López Rodríguez, ha escrito dos interesantes artículos sobre la construcción y pruebas del puente, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, págs. 29 y 421.

(2) Autor del proyecto: D. José M. Arambarri.

(3) Autor del proyecto: D. José Méndez y Rodríguez Acosta.

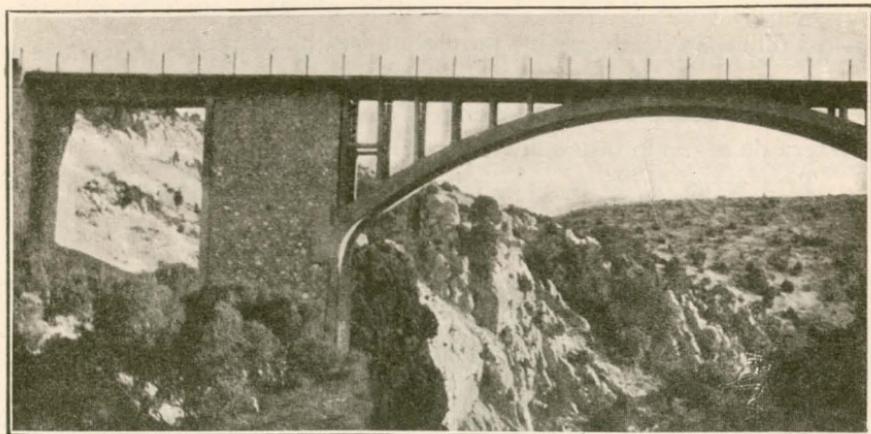


Fig. 114.—Puente sobre el río Guardal.

Doce arcos rebajados al  $1/2$  de los Modelos oficiales, con luces reales de 27,20 m. Desagüe lineal entre paramentos de estribos, 358,15 m. Altura de rasante sobre fondo de cauce, 21,80 m.

Aunque podía haberse construído este puente sin cimbras, utili-

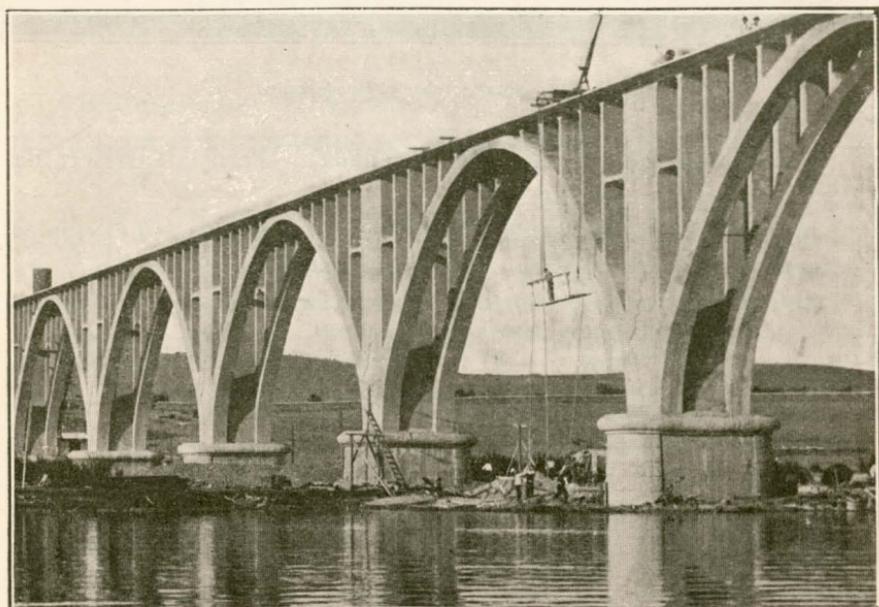


Fig. 115.—Puente de Alconetar.

zando las armaduras rígidas de sus arcos, los constructores, señores Gamboa y Domingo, prefirieron moldearlos con tres cimbras, que se fueron corriendo en los 12 tramos de arcos iguales.

Tuvieron suerte con las crecidas del Tajo, que sólo les produjo pequeñas averías en el penúltimo arco (1).

El importe total de este puente fué de 1.164.000 pesetas.

**Viaducto de la Gaznata (Avila)** para la desviación de la carretera de Venta del Obispo a Cebreros, que ha sido necesaria para

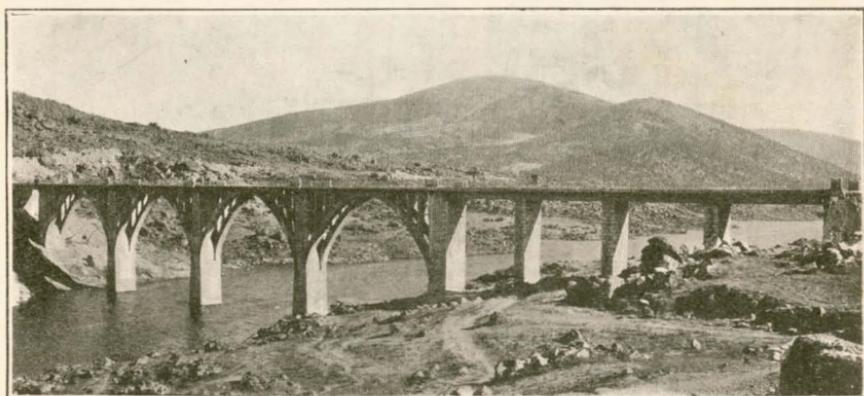


Fig. 116.—Viaducto de la Gaznata (Avila).

substraer este trozo de camino al embalse de la gran presa de Burguillo en el río Alberche (2).

Se compone de 4 arcos del modelo oficial de 25 m. y 5 tramos rectos de 11,50 m. de luz del tipo oficial corregido por el autor.

Cuando, como en este caso, los cimientos son económicos, conviene substituir algunos de los arcos por tramos rectos en aquellas zonas en que no resulten excesivas las alturas de las pilas. Es cuestión de tantear las soluciones posibles (fig. 116).

(1) Detalles de la construcción de este importante puente, en la *Revista de Obras Públicas* de 1928, pág. 139, por el ingeniero autor del proyecto e inspector de las obras, D. Cipriano Salvatierra Iriarte.

(2) Proyectado y construido por la Sociedad "Ribera y Compañía", para la Sociedad "Saltos del Alberche"; su montaje se realizó sin cimbras (fig. 87).

**Puente sobre el río Júcar, en Jalance (Valencia).**—Tres arcos de 45 m. de luz teórica; pilas cimentadas por aire comprimido (figura 117).

Las cerchas metálicas se montaron por medio de unos ligeros

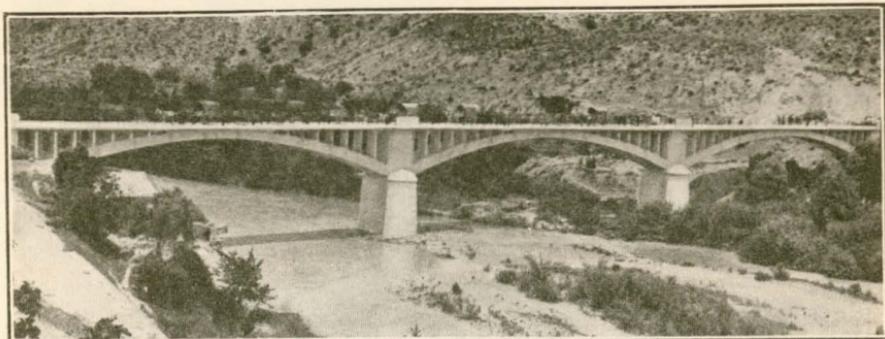


Fig. 117.—Puente sobre el río Júcar.

caballetes colocados en el centro de cada arco; se colgaron después los moldes de aquellas cerchas (1).

En las pruebas, efectuadas el 15 de junio de 1929, la flecha máxima obtenida fué de 1,50 mm.

El presupuesto total de las obras fué de 763.000 pesetas,

## § V.—CONCLUSIONES

**Ventajas de estos Modelos.**—Ya indicamos en el tomo III (páginas 99 y siguientes) la considerable ganancia de tiempo y dinero que ofrecen estos Modelos de puentes, que permiten alcanzar con gran rapidez la solución óptima en la mayor parte de los casos que en la práctica se presentan, comparando las diversas soluciones con tramos rectos de H. A. o metálicos, con arcos de hormigón en masa o armados, de rebajamientos de 1/10-1/5 y 1/2 que son los más corrientes.

Por mucha experiencia que alcance un Ingeniero, ninguno tendrá

---

(1) Autor del proyecto, D. José Burguera; ingeniero inspector de las obras, D. Enrique Tamarit.

la pretensión de acertar, *por intuición personal*, cuál es en cada caso la más conveniente distribución de luces y la preferible elección de materiales y tipos.

Las colecciones de Modelos, con sus cubicaciones, permitirán, pues, la comparación económica de todas las soluciones posibles, escogiéndose éstas entre las que mejor se amolden a los desagües y rasantes de cada puente, y así podrán los Ingenieros aproximarse por algunos tanteos a la óptima y más económica solución de la superestructura, haciendo entrar en juego los cimientos y apoyos, que varían en cada caso.

No faltan sin embargo detractores de los Modelos que pretenden que, con su abusiva aplicación, pierden los Ingenieros el hábito del cálculo y el estímulo del estudio para las soluciones propias a cada ejemplo.

El autor considera injusta esta crítica; aun en los casos en que ninguno de los Modelos permitiera su estricta y conveniente aplicación, siempre su estudio facilitará la comparación de las más racionales soluciones y el aproximarse a la más económica,

Pero además es evidente que esos Modelos, cuyos cálculos y cubicaciones se han realizado simultáneamente y casi en serie, han permitido advertir cualquier error numérico importante, que puede escaparse en un proyecto único.

No faltarán puentes que, por sus condiciones de luces, altura y situación, exijan soluciones especiales, y en ellos podrán siempre evidenciar los Ingenieros escrupulosos y conscientes la superioridad de una solución perfectamente amoldada a sus circunstancias.

Pero será mucho mayor el número de puentes en que sean aplicables y, sobre todo, comparables los Modelos oficiales, lo que justifica su frecuente empleo y la evidente economía de tiempo y de dinero que permiten.

**Comparación de los Modelos.**—Ya desde luego la comparación de los Modelos ha permitido deducir (1) que, por lo que a los puentes carreteros se refiere, *resultan casi siempre más económicos los tramos rectos de H. A. hasta 25 m. de luz, y para luces mayores los*

---

(1) Estudio comparativo del ingeniero D. José Barcala, publicado en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º y 15 de agosto de 1923, cuya lectura recomendamos.

arcos de H. A.; los tramos metálicos resultan siempre más caros.

La comparación de los Modelos para ferrocarriles es más compleja, y no hemos hecho estudios comparativos, tanto más cuanto que en estos años los precios del hierro y cemento han tenido variaciones muy sensibles.

Desde luego era tan evidente la inferioridad de los tramos metálicos de luces inferiores a 20 m. con relación a los de H. A., que no se estudiaron aquéllos.

Para los de mayores luces debe establecerse la comparación en cada caso, a cuyo efecto, para facilitar ese trabajo, incluimos a continuación el cuadro de los pesos por metro lineal de los Modelos oficiales de tramos metálicos para ferrocarriles de vía ancha estudiados por nuestro compañero D. Domingo Mendizábal.

PESO POR METRO LINEAL, DE LUZ TEÓRICA DE TRAMOS METÁLICOS, PARA FERROCARRILES DE VÍA ANCHA

Luz teórica del tramo	VÍA ÚNICA		DOBLE VÍA	
	Tablero superior —	Tablero inferior —	Tablero superior (1) —	Tablero inferior —
	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos
20	2.029,1	2.272,7	—	—
22	2.192,9	2.476,9	—	—
23	2.367,4	2.519,0	—	—
28	2.449,0	2.676,1	—	—
32	2.664,6	2.836,9	5.375,0	6.713,4
36	2.964,8	3.058,1	—	—
40	3.044,1	3.414,1	6.212,5	6.874,3
45	3.432,0	3.784,5	6.936,4	7.199,8
50	3.853,5	3.901,5	—	8.155,3

(1) Todos los tramos son de dos vigas principales, a excepción de los de doble vía (tablero superior) que tienen cuatro.