

# PUENTES DE HORMIGÓN PARA FERROCARRIL

POR JOSÉ LUIS MÚZQUIZ, INGENIERO DE CAMINOS

*Continúa la serie de artículos que constituyen este importante trabajo, que hemos tenido la satisfacción de ver reseñados en la importante revista francesa "Travaux", y que resulta un estudio completísimo del tema.*

## VII. - PUENTES EN ARCO

### SEGUNDA PARTE

### b) Empujes horizontales totales.

Continuaremos estudiando algunas características y tipos especiales de los puentes en arco.

### II. Variación de los empujes y momentos flectores.

#### a) Empujes horizontal y vertical; debidos al peso propio y retracción.

Para estudiar la variación de los empujes horizontal y vertical, debidos al peso propio y a la retracción del fraguado, consideraremos una serie de puentes de diversas flechas, luces y rebajamientos, pero todos ellos de tímpanos macizos y de la misma anchura de bóveda, a fin de obtener la mayor uniformidad posible en los resultados.

Los puentes que consideramos son los siguientes:

Puente.	Luz.	Flecha.	Relación flecha-luz.
Congosto . . . . .	18,90	5,90	0,31
Tulivana 2ª . . . . .	20,00	6,00	0,30
La Horadada . . . . .	26,00	5,75	0,22
La Garoneta . . . . .	30,00	12,00	0,40
Marcilla . . . . .	36,00	9,00	0,25
Castejón . . . . .	42,00	10,50	0,25

Determinados los valores de los empujes horizontal y vertical en arranques para una anchura de bóveda de 3,50 m., los dividimos por el producto de la flecha por la luz, y los resultados obtenidos los representamos en el gráfico de la figura 1.ª en función del rebajamiento.

Según puede verse, tanto el empuje vertical como el horizontal, pero especialmente éste, disminuyen al aumentar la relación flecha-luz.

Más interesante es considerar la variación de los empujes teniendo en cuenta también las sobrecargas. Los empujes verticales no ofrecen ninguna particularidad, ya que en los debidos a las sobrecargas no interviene para nada la hiperestaticidad de los arcos. En cambio, creemos interesante representar (figura 2.ª) los valores del empuje horizontal total por unidad de flecha y de luz, dada la gran influencia que tienen dichos empujes en el cálculo de pilas y macizos de cimentación.

En esta figura, como en la siguiente, en la que representamos los momentos flectores, hemos considerado puentes de distintas características, tímpanos y rebajamientos, habiéndose empleado, además, diversos procedimientos para su cálculo.

Puente.	Luz.	Flecha.	Relación flecha-luz.	Tímpanos.	Procedimiento de cálculo.
Lor (acceso) . . . . .	11,1	5,55	0,5	Macizos . .	B. Fritz.
Congosto . . . . .	18,9	5,9	0,31	"	Strassner.
Tulivana núm. 2 . . . . .	20	6	0,3	"	"
Mumao . . . . .	21,7	6,5	0,3	"	Sejournee y Strassner.
Rairos (lateral) . . . . .	22,1	6,6	0,3	"	"
Tremor . . . . .	22,1	11,05	0,5	"	Magnel.
Villuñe . . . . .	25,3	19	0,75	Aligerados.	Sejournee y Strassner.
La Horadada . . . . .	26	5,75	0,22	Macizos . .	Strassner.
Estrecho . . . . .	28,1	8,8	0,315	"	Sejournee y Strassner.
Querol . . . . .	30	10	0,33	Aligerados.	Melan.
La Garoneta . . . . .	30	12	0,4	Macizos . .	Strassner.
Marcilla . . . . .	36	9	0,25	"	"
Castejón . . . . .	42	10,5	0,25	"	"
Lor (central) . . . . .	43	22	0,515	Aligerados.	Melan.

Dada la multiplicidad y complejidad de estos factores, no creemos puedan separarse de modo que se vea clara y decisiva la influencia de cada uno de ellos.

EMPUJES HORIZONTAL Y VERTICAL DEBIDOS AL PESO PROPIO Y RETRACCION EN ARRANQUES DE ARCOS DE HORMIGÓN ARMADO CON TÍMPANOS MACIZOS.

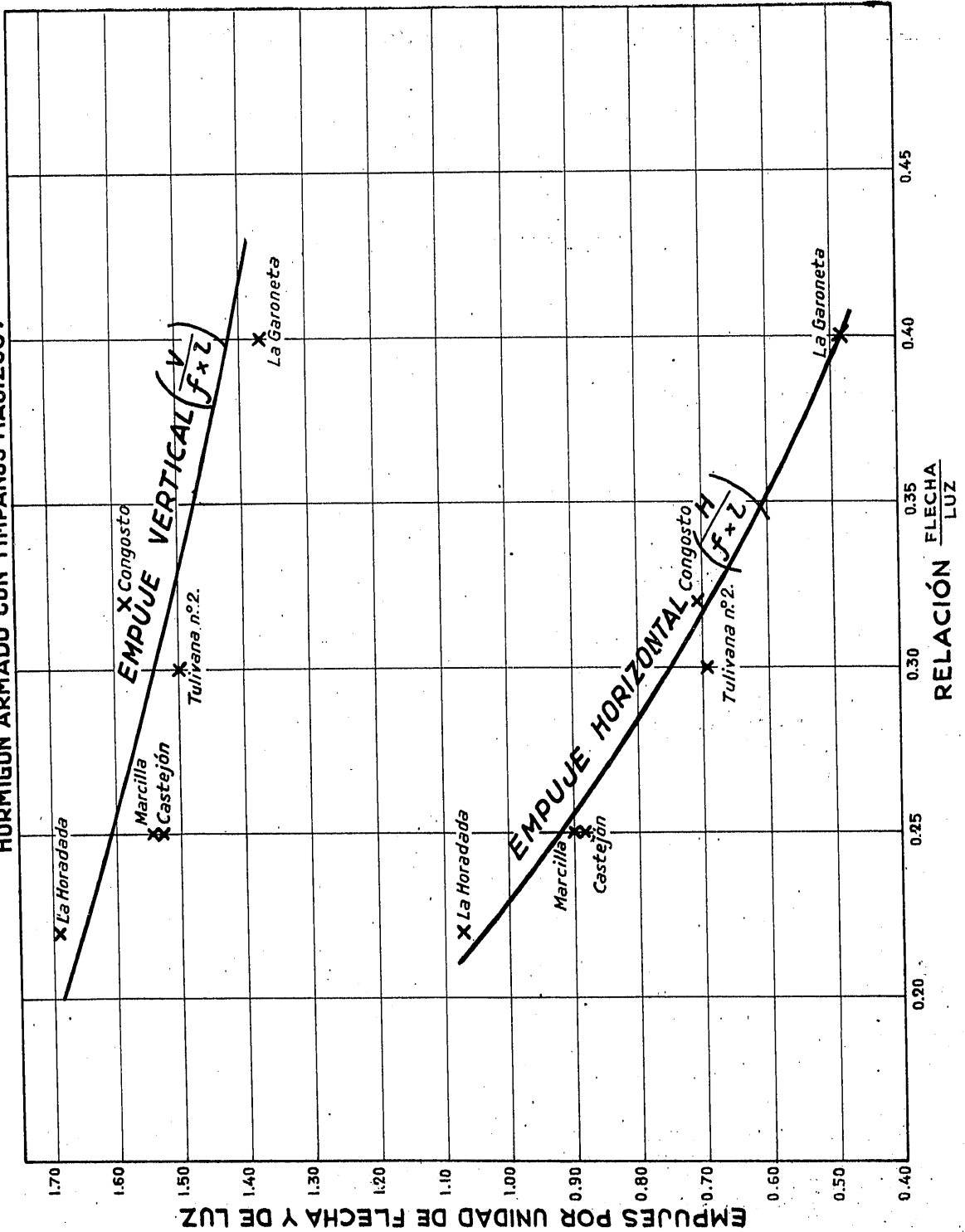


Figura 1.ª

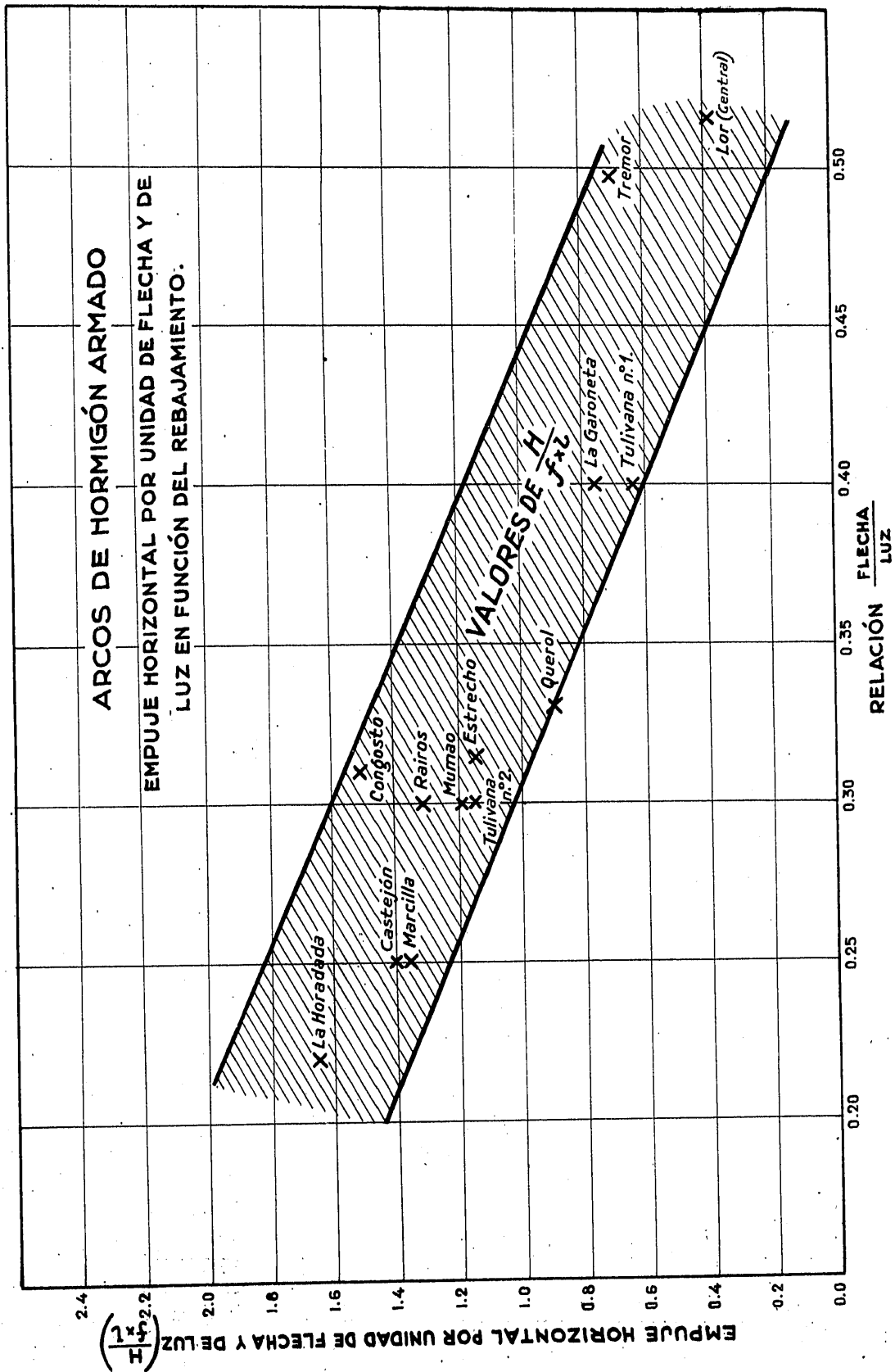
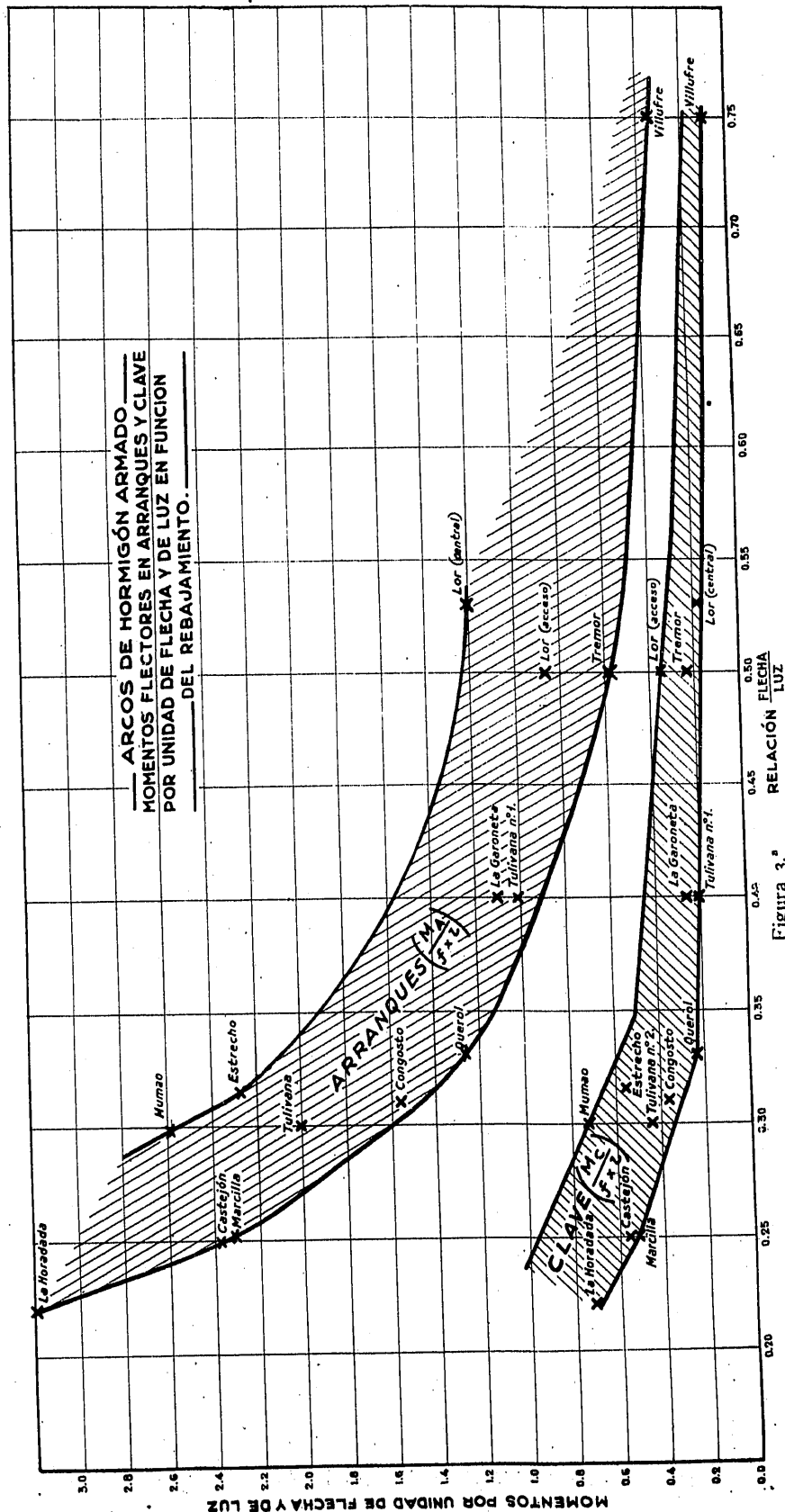


Figura 2.ª



Por eso hemos preferido señalar de un modo general las líneas que limitan las zonas en las que están comprendidos los valores de los empujes horizontales y momentos flectores. En la figura 2.<sup>a</sup> puede apreciarse que los valores de  $\frac{H}{f \times l}$  disminuyen prácticamente de modo lineal al aumentar la relación flecha-luz.

c) *Momentos en clave y arranques.*

De modo análogo a la figura anterior hemos determinado los momentos por unidad de flecha y luz que se indican en la figura 3.<sup>a</sup>. Vemos que tanto en clave como en arranques disminuyen los valores de los momentos flectores al aumentar el rebajamiento. Esto es lógico que suceda así, pues vimos en el artículo anterior que, tanto los volúmenes de hormigón como los pesos de acero, crecen con el rebajamiento, y ya sabemos los momentos flectores influyen decisivamente en las dimensiones y secciones de las piezas de hormigón armado.

**III. Arcos armados con armadura rígida y con redondos.**

En el artículo V ya tratamos de algunas particularidades de los arcos armados con armaduras rígidas, al comparar los tramos rectos con los puentes en arco. Veamos ahora, dentro de los arcos, las ventajas e inconvenientes del empleo de una u otra solución.

1.º En primer lugar hemos de considerar la gran rapidez y facilidad de montaje que se consigue con las armaduras rígidas. Por eso conviene emplearlas en todos los casos en que se hace precisa una construcción rápida, como en los puentes de la línea de Galicia y en los de Castañón y Marcilla de la línea de Na-

Figura 3.<sup>a</sup>

varra, y con mucha mayor razón si se trata de una sustitución que hay que realizar por haber quedado interrumpida la circulación por destrucción o grandes averías en el puente antiguo. Gracias al empleo de armaduras rígidas ha podido construirse en tres meses el puente de Argueda en la línea de Salamanca a Fuentes de Oñoro, constituido por tres arcos de hormigón armado de 15 m. de flecha.

El ahorro de tiempo se debe principalmente a la supresión del necesario para la construcción de la cimbra, ya que puede trabajarse en toda época del año, independientemente del caudal que lleve el río.

2.º El ahorro de madera empleando armaduras rígidas es muy grande, debido a que únicamente hay que colocar el encofrado lateral y las tablas del intradós. Éstas van sostenidas por unos angulares colgados con tuercas de las cerchas de la armadura principal (ver fig. 8.ª).

Esta disminución de madera tiene gran importancia, dados los precios actuales de la misma. La cantidad de encofrado necesario para el intradós y zonas laterales resulta muy pequeña, según vemos en el gráfico de la figura 4.ª. Para bóvedas de espesor normal, alrededor de 1 m.² de encofrado por m.³ de hormigón, y para bóvedas de pequeño espesor, de 1,9 a 2,6 m.² por metro cúbico.

El ahorro de madera podría también conseguirse empleando cimbras metálicas exteriores al arco, que se retirarían una vez hormigonada la bóveda, y así podrían servir para varios arcos. Sin embargo, de este modo se disminuye la rapidez de construcción, y además estas cerchas requieren más cantidad de acero que las armaduras rígidas. Por otra parte, el exceso de acero de las armaduras rígidas sobre las de redondos queda en beneficio del puente, mientras que las cerchas exteriores muchas veces se deterioran antes de que se haya amortizado totalmente su valor. Hay que tener en cuenta, además, que la diferencia de acero entre las armaduras rígidas y de redondos no es tampoco muy grande, como veremos en uno de los apartados próximos.

3.º Aun cuando la cimbra de madera esté muy bien construida y la ejecución del hormigón se haga con gran cuidado, siempre se obtiene una curva del intradós mucho más perfecta empleando armaduras rígidas.

4.º En casos de sustituir puentes de tablero superior e intermedio, las armaduras rígidas pueden pasar entre los arriostramientos del puente con mucha mayor facilidad que las cimbras, y por consiguiente el número de barras del puente metálico que haya que

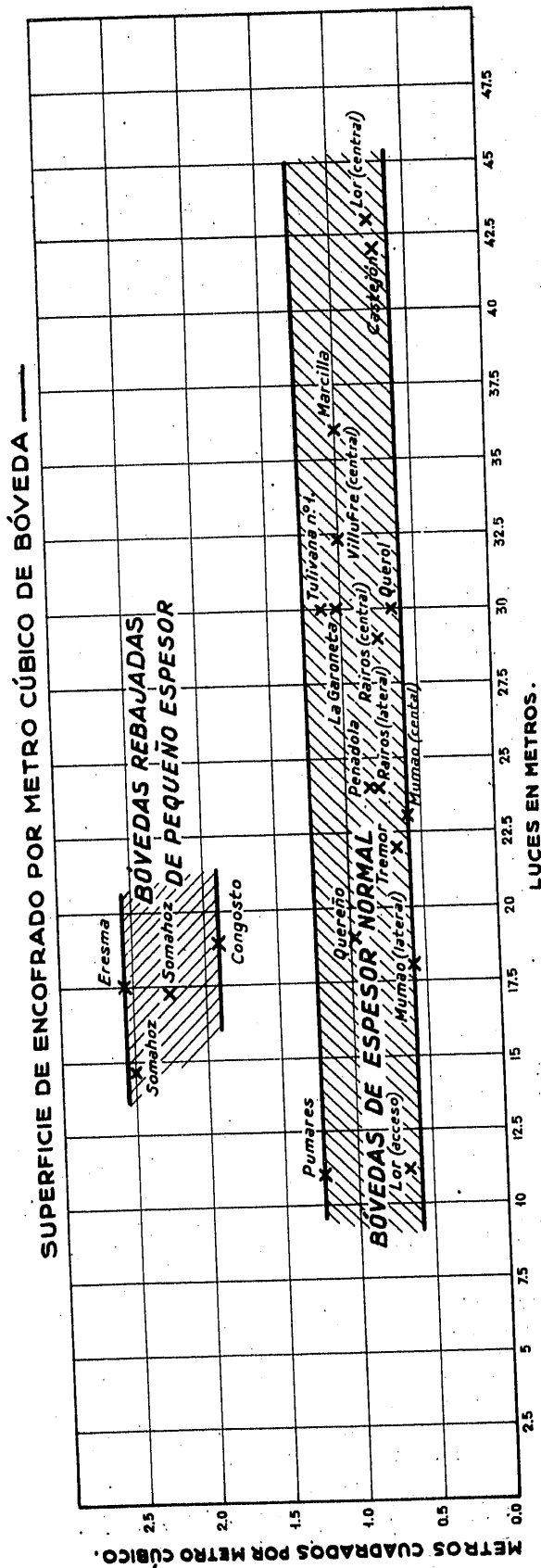


Fig. 4ª — Superficie de encofrado correspondiente al intradós y zonas laterales de la bóveda.

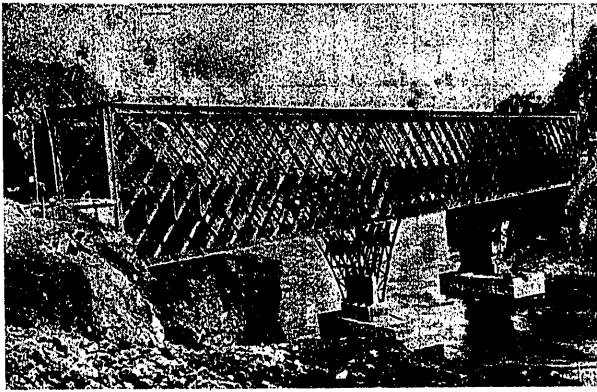


Fig. 5.ª — Sustitución del puente metálico del Estrecho, sobre el Sil, por arcos de hormigón armado. Montaje de las armaduras rígidas.

desviar o suprimir durante la construcción de los arcos quedará reducido a un mínimo y se podrá circular por él con mucha mayor seguridad.

En la figura 5.ª representamos las armaduras rígidas del puente del Estrecho de la línea de Galicia. En dicha fotografía se puede apreciar la colocación de las tablas del encofrado, que van sostenidas por un angular colgado de las cerchas.

5.º En casos de grandes alturas de rasantes, grandes luces y especialmente si se teme que se produzcan avenidas que destruyan la cimbra y la parte construída del puente, será casi imprescindible el empleo de armaduras rígidas. Por ello se han proyectado para los nuevos puentes de Castejón y Marcilla, en los que el nivel del agua en las avenidas llega hasta la cabeza inferior de las vigas metálicas actuales, y para los viaductos de Lor y de Villufre, de 22 y 19,5 metros de flecha respectivamente.

La figura 6.ª representa el puente del Lor durante el hormigonado del arco central.

6.º La principal ventaja que representan los arcos armados con redondos es la menor cantidad de acero que necesitan.

En el gráfico de la figura 7.ª representamos los pesos de acero por unidad de luz en diversos puentes armados con armadura rígida y con redondos. Vemos puede trazarse una recta por encima de la cual están los puntos representativos de los arcos con armadura rígida, y por debajo, los armados con redondos. Esta diferencia de pesos se debe principalmente a la cantidad de acero necesaria para los arriostramientos entre las cabezas de cada cercha y de unas cerchas con otras.

En las figuras 8.ª y 9.ª representamos dos sec-

ciones transversales de la armadura rígida del puente de Castejón, en las que se ven estos arriostramientos. Las cerchas son de 42 metros de luz y 10,5 metros de flecha y están divididas en siete trozos para su montaje.

La figura 9.ª corresponde a la junta de unión de dos de estas partes. Dicho enlace se hace por medio de tornillos que unen los angulares de los montantes situados en los extremos de cada uno de los trozos.

En el gráfico de la figura 10 indicamos la cantidad de acero correspondiente a la armadura principal en tanto por ciento del total de la armadura rígida. Como vemos, los arriostramientos representan del 31 al 51 por 100 del total.

Teniendo en cuenta únicamente la sección de las cabezas de las cerchas, la cantidad de acero viene a resultar próximamente igual a la de los arcos armados con redondos, y así, por ejemplo, para los puentes de Mumao (arco lateral), Tulivana núm. 2 y Quereño, próximamente de la misma luz, los pesos de acero por unidad de luz resultan:

Puente.	Luz.	Flecha.	Peso de acero por unidad de luz correspondiente a la armadura principal.	Tipo de armadura.
Mumao (arco lateral) . . . . .	18,00	8,00	475,60 Kg.	Rígida.
Quereño . . . . .	19,00	9,50	450,60 »	»
Tulivana núm. 2. . . . .	20,00	6,00	483,20 »	Con redondos.



Fig. 6.ª — Puente del Lor en la línea de Galicia. Armaduras rígidas y encofrado del arco central, durante el hormigonado de la bóveda.

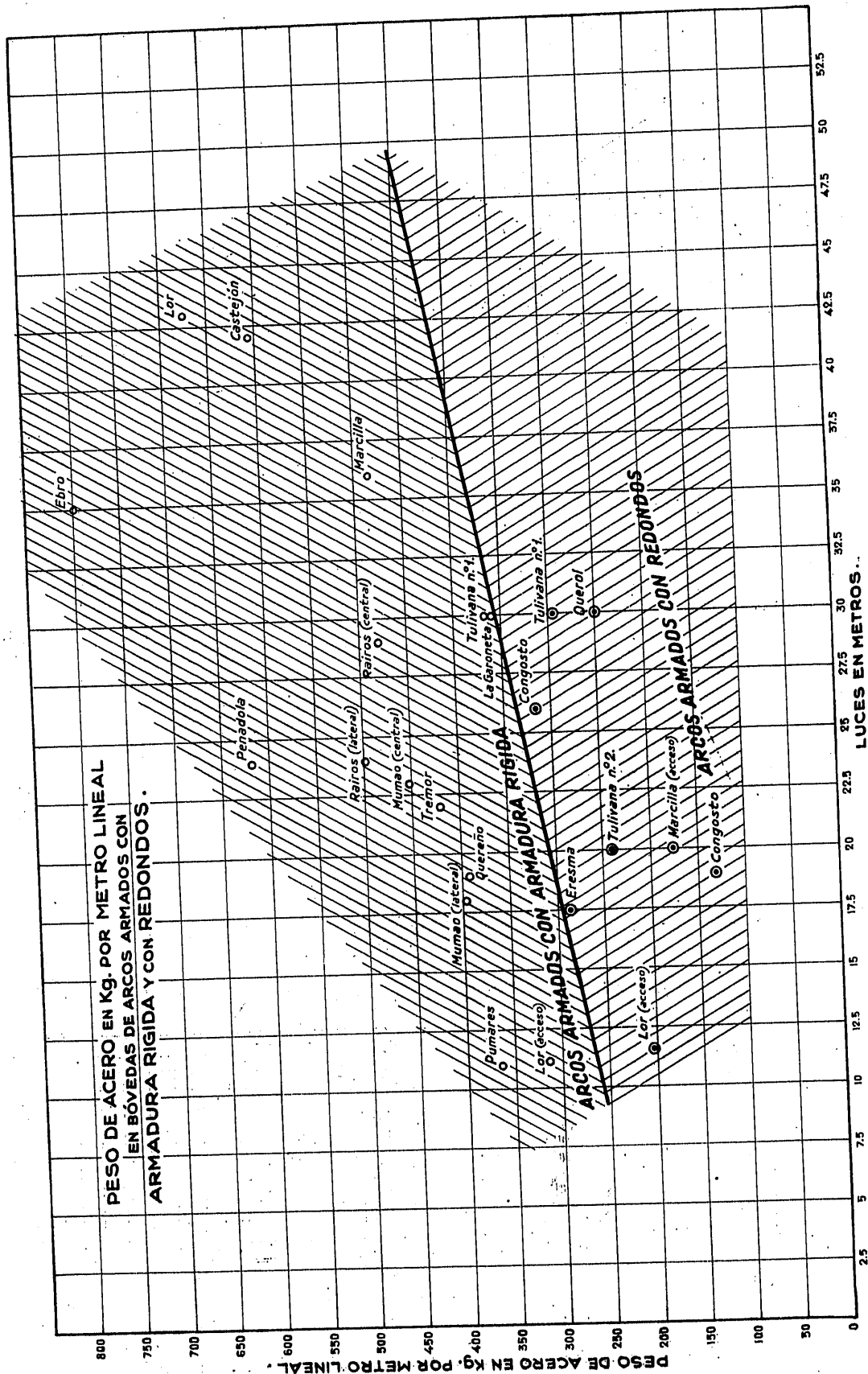


Figura 7.

## SECCIÓN POR CLAVE.

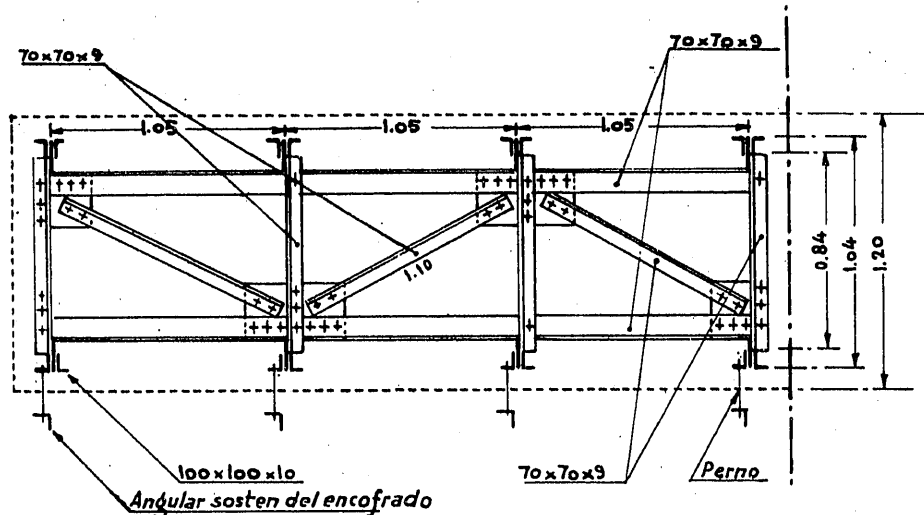


Fig. 8.<sup>a</sup> — Puente de Castejón sobre el Ebro. Armadura rígida de un semiarco.

Y en los de Querol, Rairos (central) y La Garoneta tenemos, del mismo modo, los valores:

Puente.	Luz.	Flecha.	Peso de acero por unidad de luz correspondiente a la armadura principal.	Tipo de armadura.
Rairos (arco central) . . . . .	29,00	10,50	477,80 Kg.	Rígida.
La Garoneta . . . . .	30,00	12,00	490,70 »	»
Querol . . . . .	30,00	10,00	500,00 »	Con redondos.

Los arriostramientos y montantes son superfluos desde el punto de vista de resistencia, y únicamente se colocan por razones constructivas, ya que el hormigón de la bóveda es suficiente para resistir el esfuerzo cortante y no es necesario colocar estribos o barras que contribuyan a absorberlo.

En el cuadro siguiente representamos las tensiones tangenciales en bóvedas de puentes en arco de diversas luces, y en él vemos se obtienen valores muy inferiores a los 4 ó 5 kilogramos por centímetro cuadrado, que es la tensión máxima que puede ab-

## SECCIÓN POR LA JUNTA DE UNIÓN.

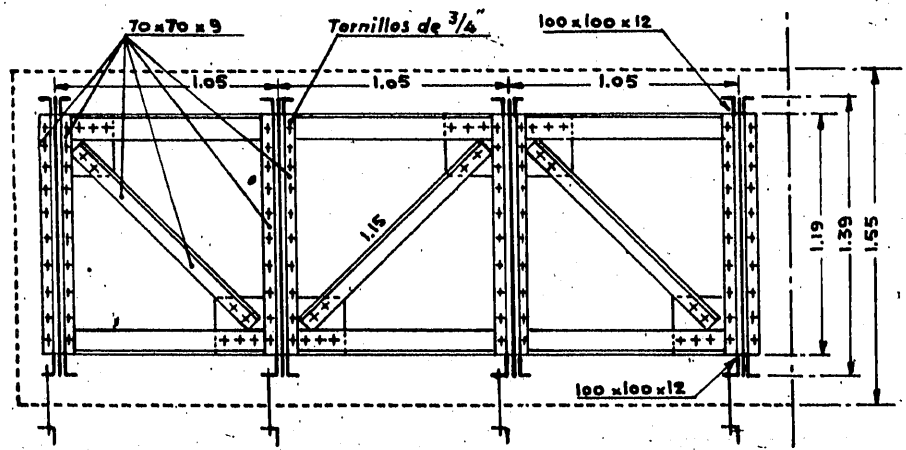


Fig. 9.<sup>a</sup> — Puente de Castejón sobre el Ebro. Armadura rígida de un semiarco.

sorber a esfuerzo cortante un hormigón de resistencia media.

Puente.	Luz.	TENSION TANGENCIAL		
		En clave.	En rifiones.	En arranques.
Tullivana núm. 2 . . .	20,00	0,35 Kg./cm. <sup>2</sup>	0,19 Kg./cm. <sup>2</sup>	0,81 Kg./cm. <sup>2</sup>
La Garoneta. . . . .	30,00	0,64 »	0,35 »	2,35 »
Marcilla. . . . .	36,00	0,34 »	0,20 »	2,65 »
Castejón. . . . .	42,00	0,36 »	0,22 »	2,33 »

Las armaduras rígidas deben construirse simétricas, es decir, con igual sección en el intradós y en el trasdós; sin embargo, esto no puede considerarse como una ventaja de las armaduras de redondos, ya que éstas suelen proyectarse también en esta forma, dados los pequeños valores que alcanza la excentricidad (relación entre el esfuerzo normal y el momento flector), especialmente en arcos poco rebajados.

En el siguiente cuadro representamos algunos valores de dicho coeficiente de excentricidad en puentes de diversas luces y rebajamientos.

Puente.	Luz.	Relación flecha-luz.	EXCENTRICIDAD		
			Clave.	Rifiones.	Arranques
Tullivana núm. 2 . . .	20,00	0,30	0,58	0,52	0,71
La Garoneta. . . . .	30,00	0,40	0,49	0,52	0,35
Marcilla. . . . .	36,00	0,25	0,43	0,35	0,57
Castejón. . . . .	42,00	0,25	0,38	0,38	0,49

7.º Para el cálculo de la armadura rígida, consideramos que el arco se hormigona en dos roscas, cada una de ellas de espesor igual a la mitad del total.

Durante el hormigonado de la primera rosca la armadura rígida se comporta como un arco metálico de directriz igual a la del arco definitivo y se determinan las tensiones que se producen en las armaduras, debidas a la sobrecarga de esta primera capa de hormigón. En cambio, durante el hormigonado de la segunda rosca podemos suponer que la primera capa, ya fraguada, resiste las sobrecargas del hormigón sin fraguar, y prescindir de los esfuerzos en las armaduras. A las tensiones causadas en las barras por el peso de la primera rosca habrá que sumar algebraicamente las debidas al resto del peso propio, retracción, temperatura, sobrecargas, etc. Dado el desigual reparto de cargas durante el hormigonado de la primera rosca, pueden originarse en algunos puntos de la armadura rígida esfuerzos temporales superiores a los obtenidos, considerando la sobrecarga uniformemente repartida. Sin embargo, puede prescindirse, sin dificultad, de estos esfuerzos, ya que siempre serán inferiores a los totales hallados, teniendo en cuenta los otros factores, especialmente tratándose de puentes de ferrocarril, en los que tanta influencia tienen las sobrecargas.

TANTO POR CIENTO CORRESPONDIENTE A LA ARMADURA PRINCIPAL DEL TOTAL DE LA ARMADURA RIGIDA :

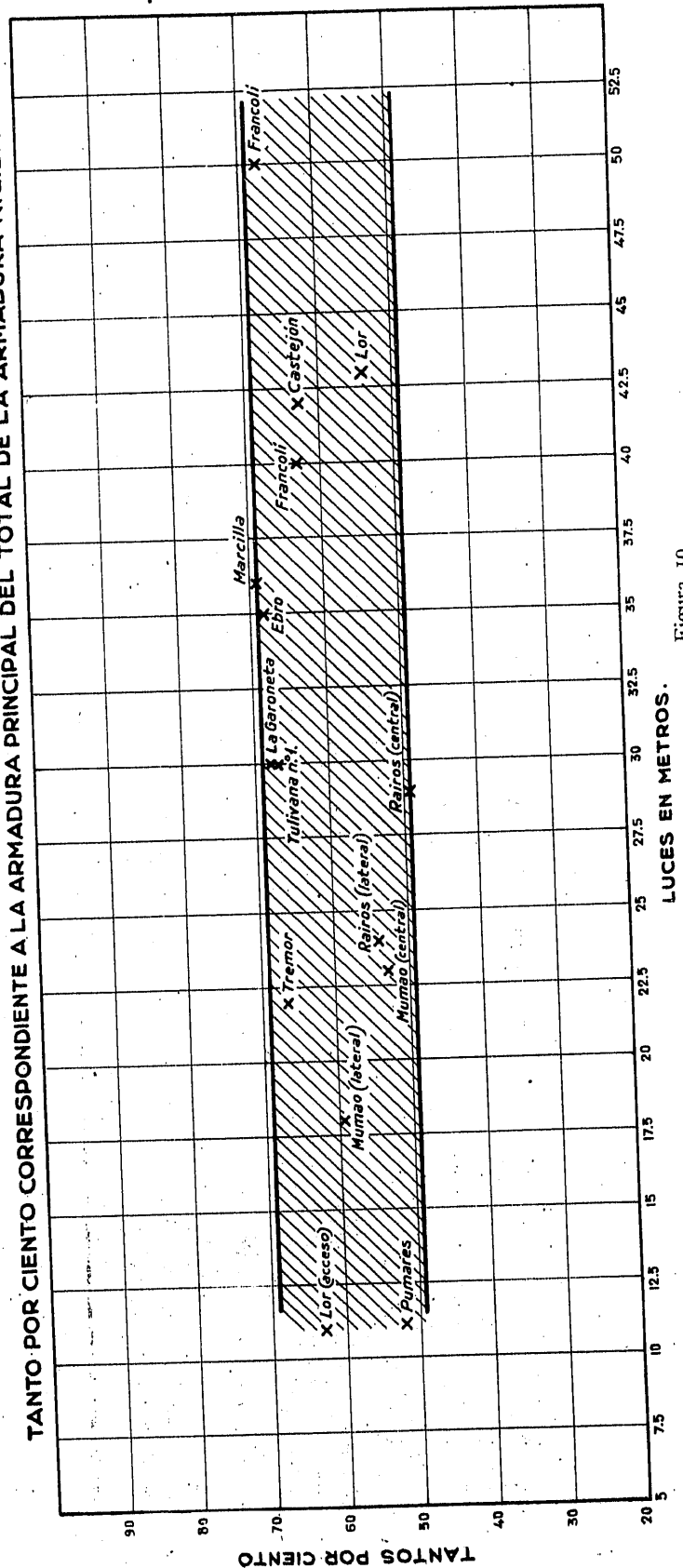


Figura 10.

LUCES EN METROS.