

# PUENTES DE HORMIGÓN PARA FERROCARRIL

POR JOSÉ LUIS MÚZQUIZ, INGENIERO DE CAMINOS

*Continúa en el presente artículo el interesante trabajo del Sr. Múzquiz, y sigue con la comparación de tramos rectos y en arco, iniciada en el artículo anterior, justificando el autor todas sus afirmaciones con datos concretos de obras construídas, que dan gran valor práctico a los gráficos y cuadros que presenta.*

## IV. - PUENTES CON TRAMOS RECTOS Y EN ARCO

### Comparación de las dos soluciones.

#### SEGUNDA PARTE.

En el artículo anterior vimos la influencia de la economía en la superestructura, del aprovechamiento de las pilas antiguas y de las condiciones estéticas. A continuación estudiaremos otra serie de factores que intervienen en la elección del tipo de obra.

#### 4.º Influencia de la masa.

La importancia de las sobrecargas que han de circular por los puentes de ferrocarril y los esfuerzos dinámicos a que han de estar sometidos aconsejan que se construyan con gran masa relativa (1).

Desde este punto de vista, es más apropiada la solución en arco, ya que, como vimos anteriormente al tratar de las cantidades de hormigón, el volumen por metro lineal de tramo recto es inferior al de los puentes en arco.

En el caso de que los tímpanos sean macizos, esta diferencia es todavía mayor, ya que hay que tener en cuenta el relleno de piedra. En resumen, se obtiene el gráfico (fig. 1.ª), en el que se indican los pesos por metro lineal para distintos puentes rectos y en arco y las sobrecargas correspondientes al tren tipo de la Instrucción.

Como vemos, la masa de los tableros es muy inferior a la de los puentes en arco, aun en el caso de arcos muy rebajados, como los de Somahoz, o de arcos bastante rebajados con tímpanos aligerados, como el de Querol. Únicamente la masa del puente del Eresma resulta próximamente igual a la de los tableros, debido a su gran rebajamiento y al aligeramiento de los tímpanos.

Otra ventaja de los puentes en arco es que, si están empotrados en los arranques, como es el caso

general, forman un todo monolítico con los estribos, los cuales contribuyen así al aumento de masa y, por tanto, a la solidez y duración de la obra. Por esto, los arcos con articulaciones no son apropiados para puentes de ferrocarril, aun cuando indudablemente presenten algunas ventajas, tales como posibilidad de lograr la isostaticidad, disminución de cimentación, menor volumen de hormigón, etc. En cuanto a los tramos rectos en celosía y arcos atirantados con tablero inferior, los inconvenientes son todavía mayores, debido a la complicación de la construcción, necesidad de dar tensión al tirante, mayor anchura de la plataforma, más peso de acero, y, sobre todo, a la existencia de puntos débiles en los nudos y a la menor masa y solidez de la estructura. Por eso, en el caso de que las condiciones de desagüe no permitan la colocación de una obra con tablero superior, ni pueda elevarse la rasante, será, generalmente, preferible el empleo de una estructura metálica o aumentar el desagüe lineal, proyectando mayor número de vanos.

En cambio, para pasos superiores sobre ferrocarril, en los que la rasante de la carretera conviene se eleve lo menos posible, están muy indicadas las soluciones con tablero inferior, tanto de tramos rectos como de arcos atirantados. Y así, para el paso superior de la estación de Irún, sobre el que ha de pasar la carretera de Fuenterrabía, se ha proyectado un arco atirantado, de 30 m. de luz, solución muy apropiada tanto desde el punto de vista estético como del de elevación de la rasante de la carretera, que se ha conseguido quede reducida al mínimo. Al mismo tiempo, con este tipo de obra se han evitado los apoyos intermedios, que dificultarían la colocación y modificaciones de las vías, circunstancia digna de tenerse en cuenta, por estar situado el paso superior en la zona de maniobras de la estación.

#### 5.º Duración.

En cuanto a la duración, puede, desde luego, afirmarse que es mayor en los arcos que en los tramos. Al sustituir los pontones de una línea, muy rara vez ha sido preciso reemplazar las obras constituídas por arcos, por estar en perfecto estado de conservación, mientras que en los tramos se han producido, general-

(1) En la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de enero de 1942, se reseña el informe de la Comisión encargada del fallo del concurso para el proyecto del puente de ferrocarril sobre el Ródano y el Arve, en las proximidades de Ginebra. Entre sus acuerdos figura la necesidad de que los puentes de ferrocarril se construyan con gran masa.

### PESOS POR METRO LINEAL DE PUENTE.

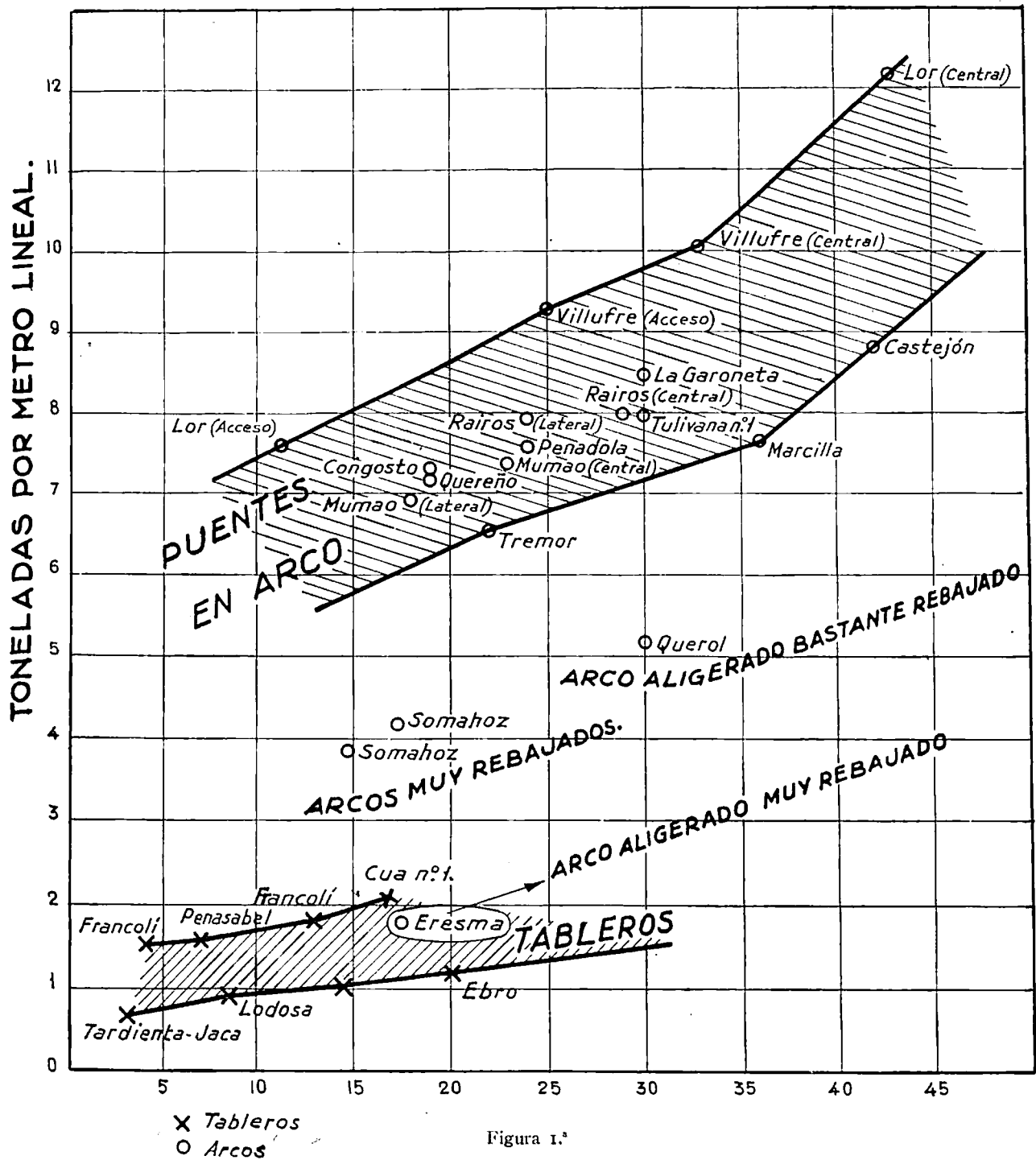


Figura 1.ª

mente, grietas, sobre todo si no se ha tenido la precaución de colocar estribos en exceso en la proximidad de los apoyos.

### 6.º Desagüe.

Para los puentes de tablero superior, como son la mayoría de los de ferrocarril, es evidente que los tramos rectos tienen más capacidad de desagüe que los arcos. Por esta razón, cuando en puentes de escaso desagüe ha sido conveniente, por otras circunstancias, el empleo de arcos, ha tenido que elevarse la rasante (como en los puentes de Castejón, sobre el Ebro; Marcilla, sobre el Aragón; Congosto, sobre el Pisuerga, y las Caldas, sobre el Besaya), o proyectarse arcos muy aligerados, si dicha elevación de la rasante no era factible desde el punto de vista económico. Tal ha sido el caso del puente sobre el Ebro,

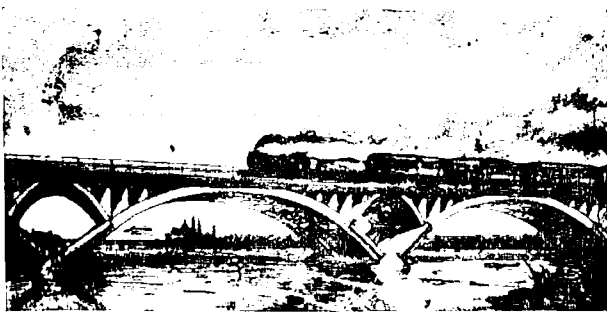


Fig. 2.º — Puentes sobre el Ebro (Zaragoza). Proyecto de los Ingenieros de Caminos D. José Juan Aracil y D. Fernando Reig Vilaplana, presentado al concurso convocado por Ferrocarriles del Norte.

en Zaragoza (fig. 2.º), proyectado por nuestros compañeros Aracil y Reig, en el que la elevación de la rasante ofrecía grandes inconvenientes, por estar situado a la salida de la estación de La Industrial Química de Zaragoza. Los arcos principales, de 35 metros de luz, están empotrados en los arranques, y los de aligeramiento, articulados, a fin de evitar la transmisión de momentos al arco principal.

El desagüe, con esta solución, es mucho mayor que en los otros arcos con tímpanos aligerados; sin embargo, no puede contarse con todo el espacio libre que dejan los aligeramientos, por las dificultades que siempre ofrecen al paso de la corriente los vanos de pequeñas luces, especialmente por la posibilidad de obstruirse cuando el río arrastra gran cantidad de troncos, ramas, etc.

Las soluciones con tablero inferior, tanto de tramos rectos como de arcos atirantados, presentan, desde luego, mucho mayor desagüe que las de tablero superior; pero, como dijimos anteriormente, no son convenientes para obras de ferrocarril.

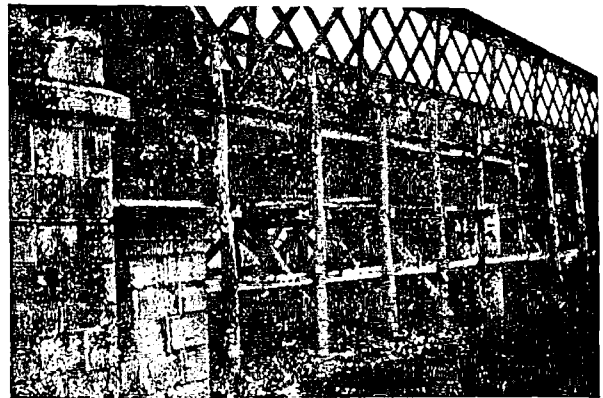


Fig. 3.º — Puente de Cua, núm. 2, en la línea de Galicia. Sustitución de tramos metálicos de tablero inferior por tableros de hormigón armado.

### 7.º Altura de rasante sobre el cauce.

Si la altura de la rasante de la vía es pequeña, es más conveniente el empleo de tramos rectos, ya que los arcos tendrían que ser muy rebajados, o habría que multiplicar excesivamente el número de vanos y, por tanto, el de pilas.

Por ello se han empleado tableros en la sustitución del puente metálico de Cua núm. 2, de la línea de Galicia (fig. 3.º), en el que, no obstante la elevación de un metro de la rasante, la altura libre sobre el cauce resultó sólo de 3 a 3,50 m. En la fotografía, tomada durante la construcción de los tableros, se ven los tramos metálicos elevados y apoyados sobre tacos de madera.

En cambio, si la altura sobre el cauce es grande, convendrán, en general, los puentes en arco, sobre todo si el terreno de las laderas es suficientemente resistente para soportar con facilidad los empujes. Esto tiene lugar en el puente construido sobre el río Lor, en la línea de Galicia (figs. 4.º y 5.º); en el viaducto

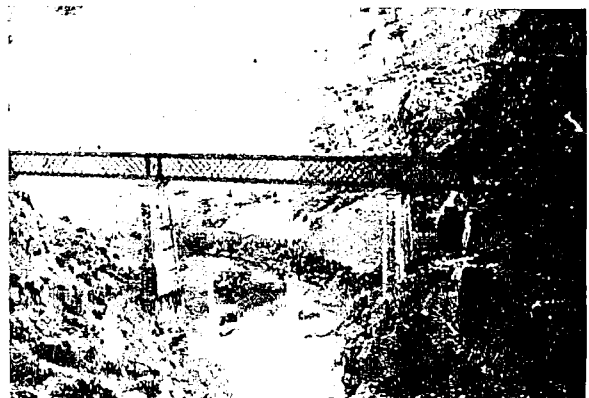


Fig. 4.º — Puente metálico sobre el río Lor, en la línea de Galicia.

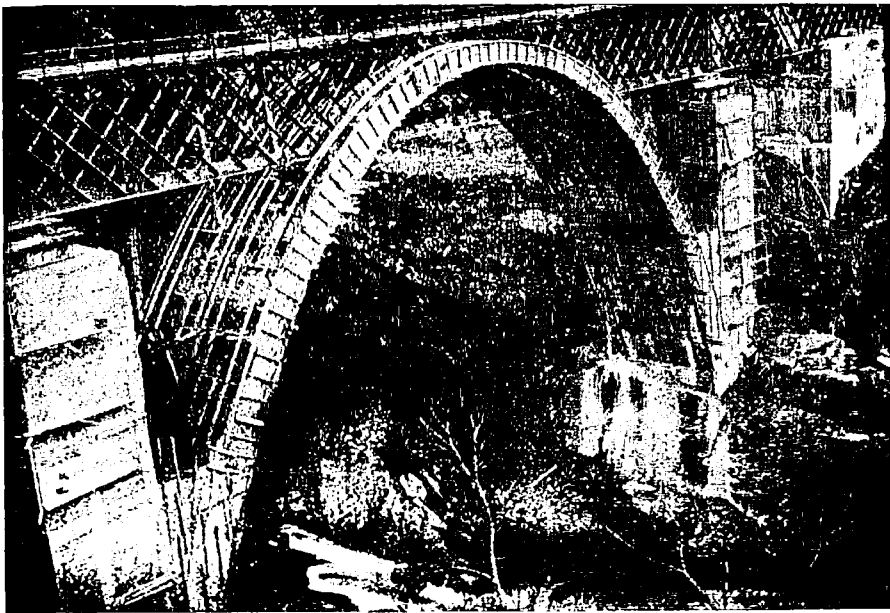


Fig. 5.<sup>a</sup> — Sustitución del puente metálico del Lor por arcos de hormigón armado. Construcción del arco central, de 43 m. de luz y 22 m. de flecha.

del Villufre, de la misma línea, y en el proyectado para el puente de Osquía, entre Pamplona y Alsasua.

En algunos casos de gran altura de rasante, pueden proyectarse arcadas múltiples en vez de arcos, como en el viaducto de Tres Fuentes, en la línea de Zafra-Huelva (fig. 6.<sup>a</sup>).

Para que esta solución sea ventajosa, es preciso que las condiciones del terreno sean tales que no haya inconveniente en multiplicar los macizos de cimentación. Por lo que, si tienen que emplearse cajones de aire comprimido, o simplemente agotamientos en varias pilas, será preferible salvar el valle con uno o

tres arcos de gran luz cimentados sólidamente en las laderas.

Las arcadas necesitan menos cantidad de acero que los arcos e incluso pueden construirse totalmente de hormigón en masa; si están convenientemente dimensionadas resultan bien desde el punto de vista estético, y permiten aprovechar las pilas antiguas, con más facilidad que si hubieran de resistir el empuje de arcos de grandes luces. En cambio, requieren un volumen mayor de hormigón, más superficie de encofrado y más mano de obra para su construcción.

Es frecuente también el empleo de arcadas solamente en los accesos, como en el citado puente de Lor (fig. 5.<sup>a</sup>). En la figura 7.<sup>a</sup> se representa

la construcción de las pilas de dichas arcadas.

Otras veces se ha preferido proyectar un terraplén o pedraplén, en sustitución de un viaducto, colocando una obra de fábrica de pequeña luz en el cauce, para asegurar el desagüe. Esta solución será conveniente en algunos casos en que la corriente de agua sea muy reducida y haya facilidad de transportar las piedras o tierras al lugar de la construcción. Esto ha ocurrido en los viaductos de Rubín y Val, de la línea de Galicia, que se rellenan con las tierras procedentes del desmonte de la estación de Freijeiro y de las obras de ampliación de la estación de Monforte, y

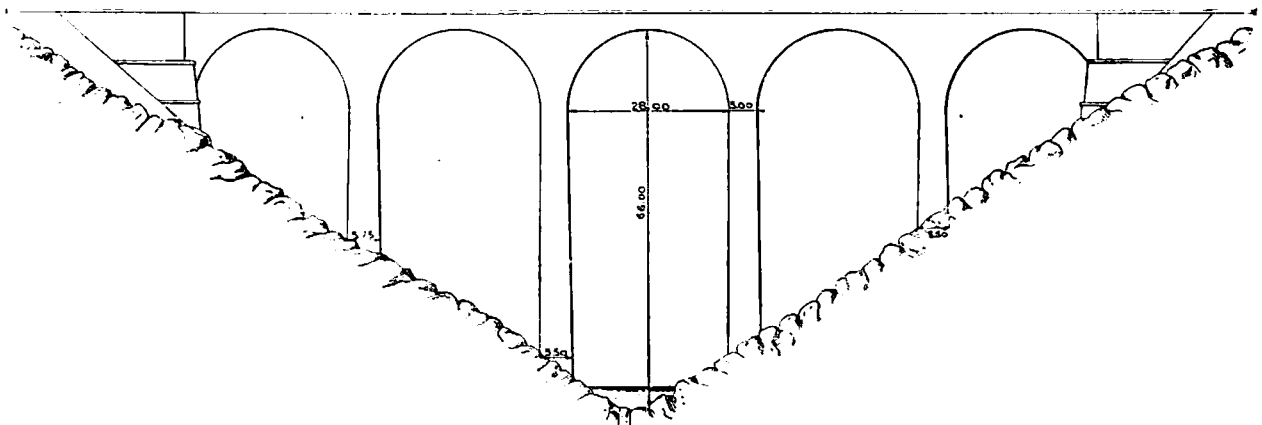


Fig. 6.<sup>a</sup> — Viaducto de Tres Fuentes, en la línea de Zafra-Huelva.

PUENTE DE MARCILLA EN LA LÍNEA DE NAVARRA

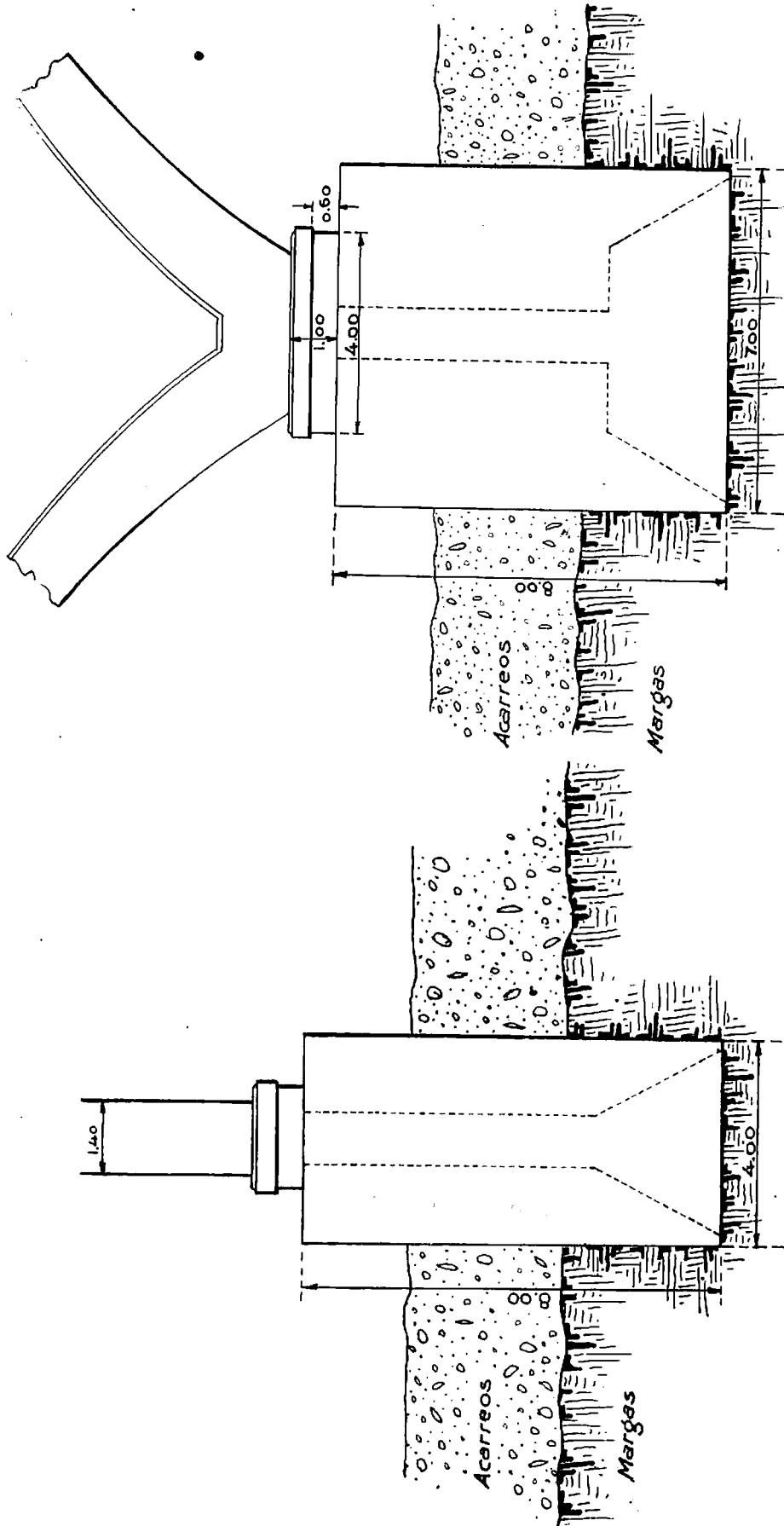


Fig. 8.ª — Cimentación de una pila de apoyo de los tableros.

Fig. 9.ª — Cimentación de una pila de apoyo de los arcos.

en el de Perana, de la línea de Asturias, que utilizará los escombros de unas minas próximas.

Los pedraplenes o terraplenes son, sin embargo, mucho más lentos de construcción, están expuestos a asientos y no tienen la esbeltez de las otras solucio-

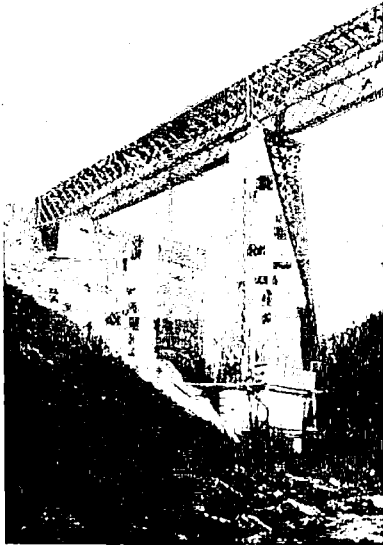


Fig. 7. — Puente del Lor. Construcción de las pilas de los accesos del nuevo puente de hormigón armado.

nes, por lo que sólo habrán de emplearse cuando la adquisición de los materiales resulte muy económica.

En cuanto a los pasos inferiores, convienen, en general, los tableros, a fin de tener altura suficiente para el paso del gálibo en toda la anchura. Así se han proyectado o construído en los de Loyola, Villafría, Taracena, La Garoneta, etc.

8.º Cimentación.

Al comparar los tramos independientes con los continuos, ya tratamos de las ventajas de las solu-

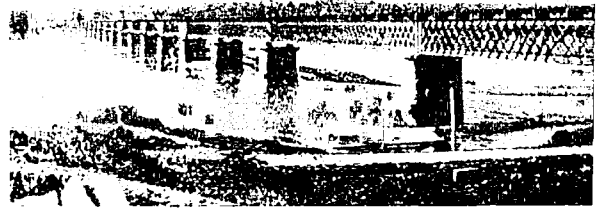


Fig. 10. — Puente de Castejón, sobre el río Ebro, constituido por 20 tramos metálicos. El nuevo puente se construye al lado del actual, y consta de 15 arcos de hormigón armado de 42 m. de luz.

ciones isostáticas respecto a las hiperestáticas, en cuanto a ahorro de cimentación.

Dado que los arcos están empotrados en los arranques, presentarán los mismos inconvenientes que los tramos hiperestáticos, a los que se añadirán los debidos a la oblicuidad de los empujes de las bóvedas. Por ello, la cimentación de los puentes en arco ha de cuidarse especialmente, y en caso de que el terreno no tenga resistencia suficiente, será preciso el empleo de grandes macizos de cimentación.

En igualdad de condiciones, el volumen de cimientos es mayor en los puentes de arco que en los tramos rectos, como podemos apreciar en el ya citado puente de Marcilla, constituido por arcos de 36 m., en la zona del cauce principal, y tableros de 15 m. de luz de cálculo, en la zona de avenidas. La cimentación se hizo por medio de cajones de aire comprimido de 8 metros de altura, que atraviesan los acarrees y se empotran de 3 a 4 m. en la capa de margas fuertes (figuras 8.ª y 9.ª).

Las dimensiones y volúmenes de hormigón de los cajones, son las siguientes:

	Altura.	Longitud.	Anchura.	Vol. hormigón.
Zona de arcos: Pilas.....	8,00	7,00	12,00	672 m. <sup>3</sup>
Zona de arcos: Estribos.....	8,00	10,00	12,00	960 "
Zona de tableros: Pilas y estribos.....	8,00	4,00	8,00	256 "

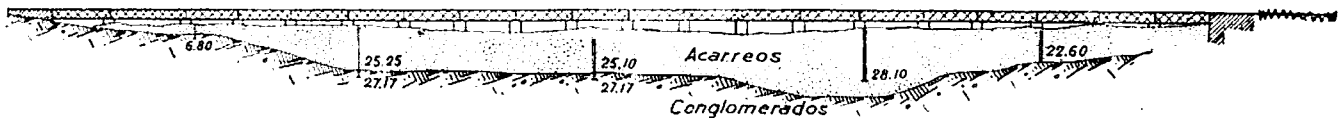


Fig. 11. — Puente de Castejón, sobre el río Ebro. Esquema de los sondeos efectuados en el puente de Castejón sobre el río Ebro. El terreno firme aparece muy profundo, por lo que ha sido preciso cimentar los cajones de aire comprimido en la zona de acarrees.

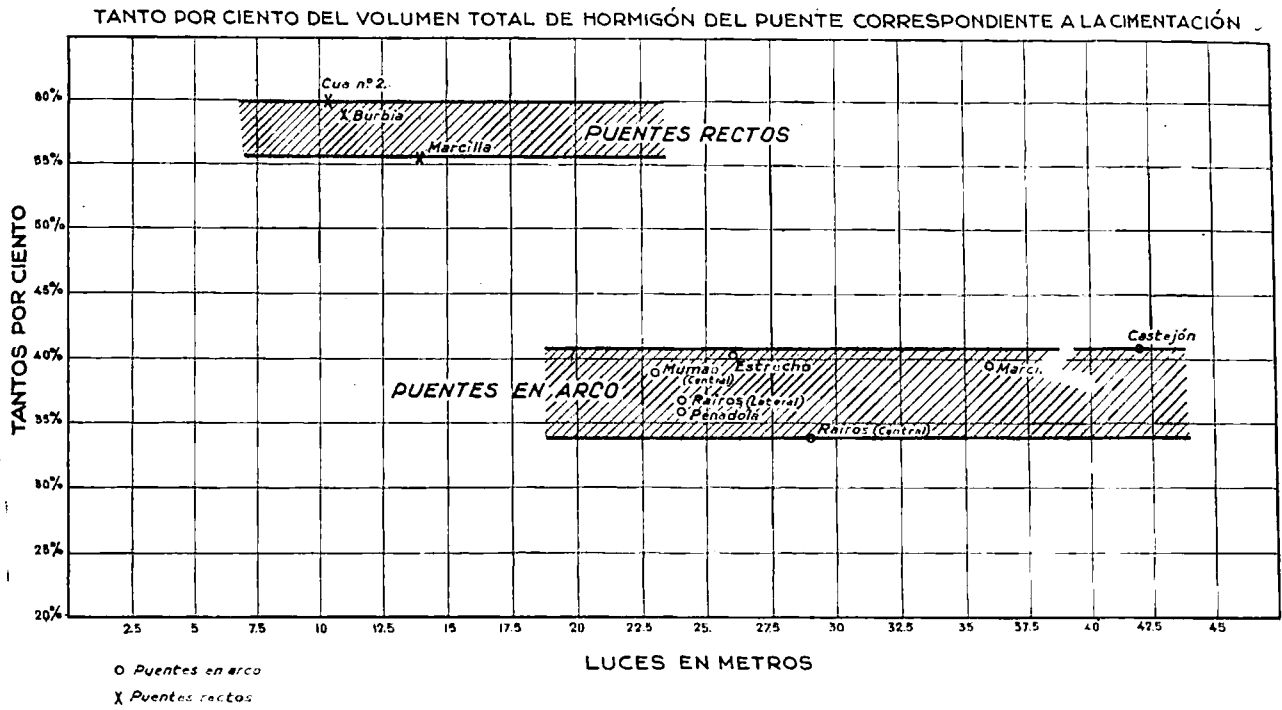


Figura 12.

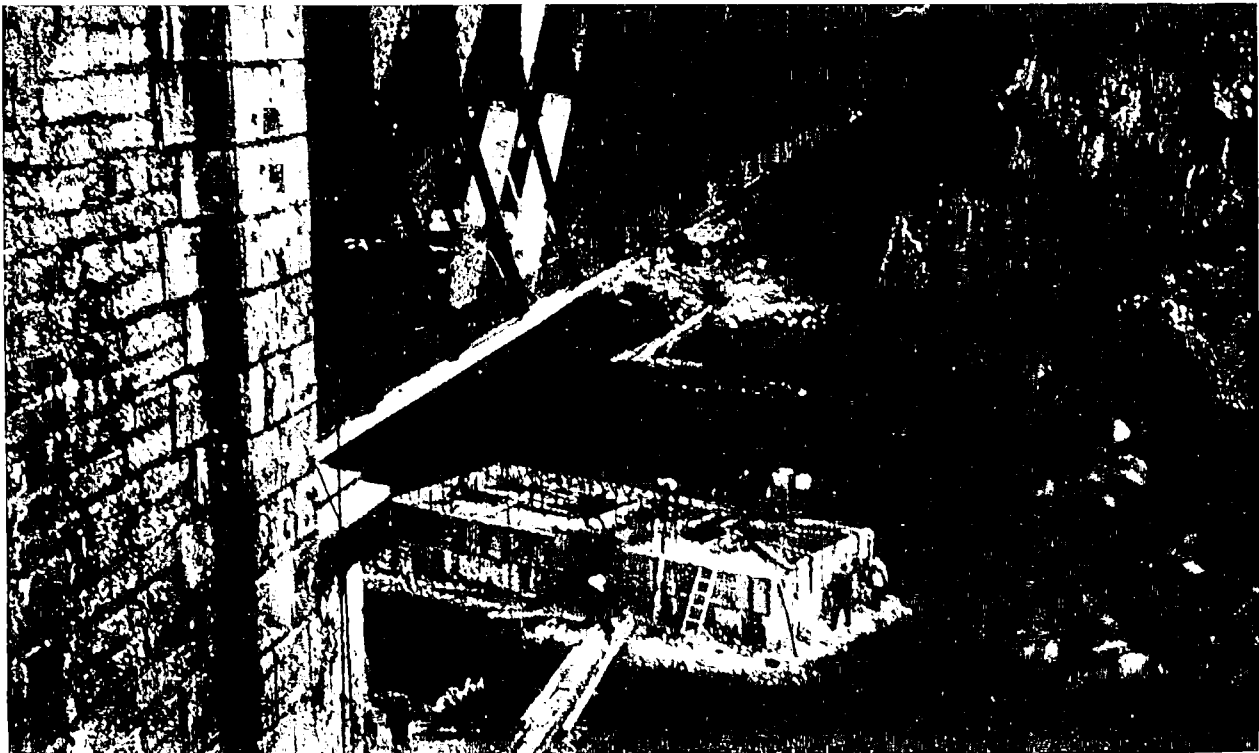


Fig. 13.— Puento del Estrecho, sobre el río Sil. Construcción de los cajones de cimentación del nuevo puente.

Y, por consiguiente, los volúmenes por metro lineal de puente, serán:

$$\text{Zona de arcos, pilas: } \frac{672}{36} = 18,6 \text{ m.}^3 \text{ por m.}$$

$$\text{Zona de arcos, estribos: } \frac{960}{18} = 53,3 \text{ m.}^3 \text{ por m.}$$

$$\text{Zona de tableros, pilas: } \frac{256}{15} = 17,0 \text{ m.}^3 \text{ por m.}$$

$$\text{Zona de tableros, estribos: } \frac{256}{7,5} = 34,0 \text{ m.}^3 \text{ por m.}$$

El ahorro de hormigón en la zona de tableros es, pues, evidente, sobre todo si el número de vanos es pequeño. Sin embargo, la mayor complicación de las instalaciones, el aumento del número de campanas de aire comprimido y de las islas en el caso de que tenga lugar la hinca en el río, así como la mayor estabilidad de los cajones de grandes dimensiones, hará desaparecer esta ventaja en la mayoría de los casos.

En cuanto al procedimiento de cimentación, conviene evitar, para los arcos, el empleo de pilotajes, a causa de los citados empujes oblicuos. Por eso, si no pueden cimentarse directamente en el terreno, habrá que llegar al empleo de cajones indios o de aire

comprimido, a pesar de su mayor coste. Dada la gran masa que requiere la superestructura de los puentes de ferrocarril, no es tampoco esto un grave inconveniente, ya que sería absurdo que la masa y seguridad de la cimentación fuera inferior a la del resto de la estructura.

A veces, no ha sido posible llegar con la cimentación hasta terreno firme, como ha ocurrido en el puente de Castejón, de la línea de Navarra (fig. 10), en el que, por encontrarse muy profunda la zona de conglomerados (fig. 11), han tenido que cimentarse los cajones de aire comprimido en la zona de acarreos.

La influencia del coste de la cimentación en el total de la obra es, desde luego, muy variable, según el tipo empleado, diversas circunstancias del terreno, disposición del cauce, etc.

Tratándose de cimentaciones con aire comprimido, el volumen de los cajones resulta del 34 al 41 por 100 del volumen total de hormigón, para los puentes en arco, y del 56 al 60 por 100, para los puentes con tramos rectos, según vemos en el gráfico de la figura 12, dibujado teniendo en cuenta los datos de las últimas obras construidas por la Red Nacional en las líneas de Galicia y Navarra.

En las figuras 13 y 14 se representa la construcción, por "Entrecanales y Távora", de los cajones de cimentación de los puentes del Estrecho y Penadola, en la línea de Galicia. Al efectuar la sustitución de los tramos metálicos por arcos de hormigón armado, se construyeron dos pilas intermedias en el puente del Estrecho y una en el centro de cada vano, en el de Penadola.

En resumen podemos decir que el número de apoyos conviene, en general, que sea lo más reducido posible, sobre todo si se trata de cimentaciones por aire comprimido. Y por tanto, el empleo de arcos, con los que se llega a mayores luces que con los tableros, será más ventajoso desde este punto de vista, especialmente si puede salvarse el cauce principal con un sólo arco cimentado directamente, y evitarse por completo la instalación de aire comprimido en la obra.

Por el contrario, será preferible el empleo de tramos rectos si el terreno de cimentación es tan malo que requiere el empleo de grandes macizos de cimentación para absorber los empujes inclinados, o si hay posibilidad de aprovechar las pilas y estribos existentes, o si se trata de vanos de acceso con cimentación fácil, en los que no importe multiplicar el número de apoyos.



Fig. 14. — Puente de Penadola, en la línea de Galicia. Cimentación de las pilas centrales del puente de hormigón.