

PUENTES DE HORMIGÓN PARA FERROCARRIL

POR JOSÉ LUIS MÚZQUIZ, INGENIERO DE CAMINOS

Continúa el interesante y completo estudio comparativo iniciado por el autor en el número anterior, y se ocupa en el presente artículo de estudiar las ventajas e inconvenientes que en cada caso pueda presentar la adopción de tramos independientes o tramos continuos, dentro de la solución de puentes rectos de hormigón armado.

II. - PUENTES RECTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Tramos independientes y tramos continuos.

Para estudiar las ventajas e inconvenientes de estas dos soluciones, primeramente compararemos los volúmenes de hormigón, pesos de acero y cantos totales en cada una de ellas, y después trataremos de otros factores que influyen, a veces decisivamente, en la adopción de uno u otro tipo de obra.

a) Volumen de hormigón.

En el gráfico de la figura 1.^a indicamos los volúmenes de hormigón por metro lineal de puente, correspondientes a la colección de tableros-tipo estudiada en el artículo anterior, y a varias soluciones de tramos continuos. No obstante haberse proyectado los tableros de la colección procurando tuvieran el menor

VOLÚMEN DE HORMIGÓN POR METRO LINEAL

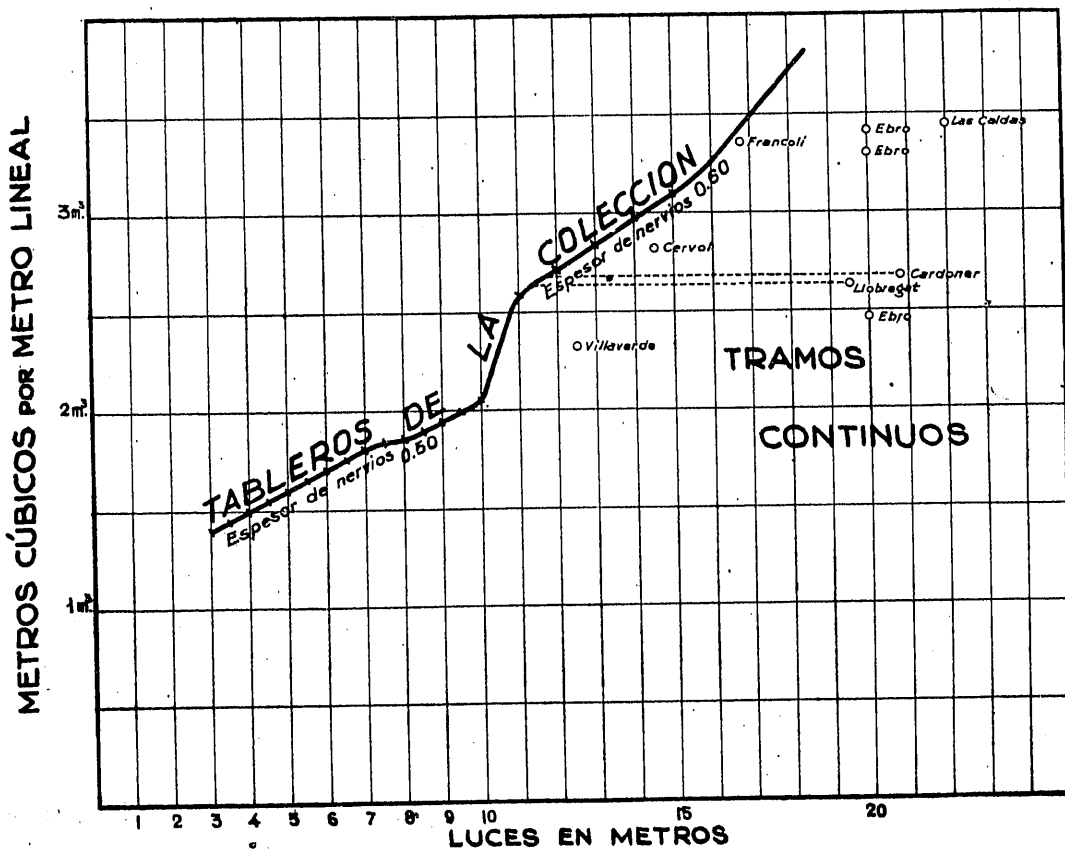


Figura 1.^a

canto, y, por consiguiente, el menor volumen posible, se observa una diferencia apreciable a favor de los tramos continuos, debido a que en éstos los momentos flectores se producen en los apoyos sobre los que se puede acartelar, mientras que en los tramos independientes tienen lugar en el centro del vano, por lo que es prácticamente imposible construirlos con altura variable.

Esta diferencia se acentúa al aumentar las luces, ya que al ser en los tramos independientes los máximos momentos positivos los que se producen en el centro del vano, se hace preciso alojar los redondos de la armadura longitudinal en los nervios, con el consiguiente aumento de su anchura al crecer la sección de acero.

Por el contrario, como en los tramos continuos los máximos momentos son los negativos que se producen sobre los apoyos, pueden alojarse los redondos en

el tablero y proyectar los nervios con mayor esbeltez.

Y así, si los puentes de Llobregat, Cardoner y Ebro (fig. 1.^a) se hubieran construido con tramos independientes, hubiera sido preciso emplear doble cantidad de hormigón o dividir las luces colocando tableros de 11 m., lo que implicaría un aumento del número de pilas, complicación de la cimentación y disminución del desagüe.

La máxima reducción de hormigón se obtendría realmente empleando soluciones con ménsulas, con las que se logra una gran esbeltez y disminución del canto y se evita, al mismo tiempo, la hiperestaticidad. Pero tratándose de puentes de ferrocarril, que requieren gran masa, no es conveniente su empleo, ya que las uniones entre los tramos son siempre puntos débiles, y, por otra parte, las rótulas complican y encarecen la construcción.

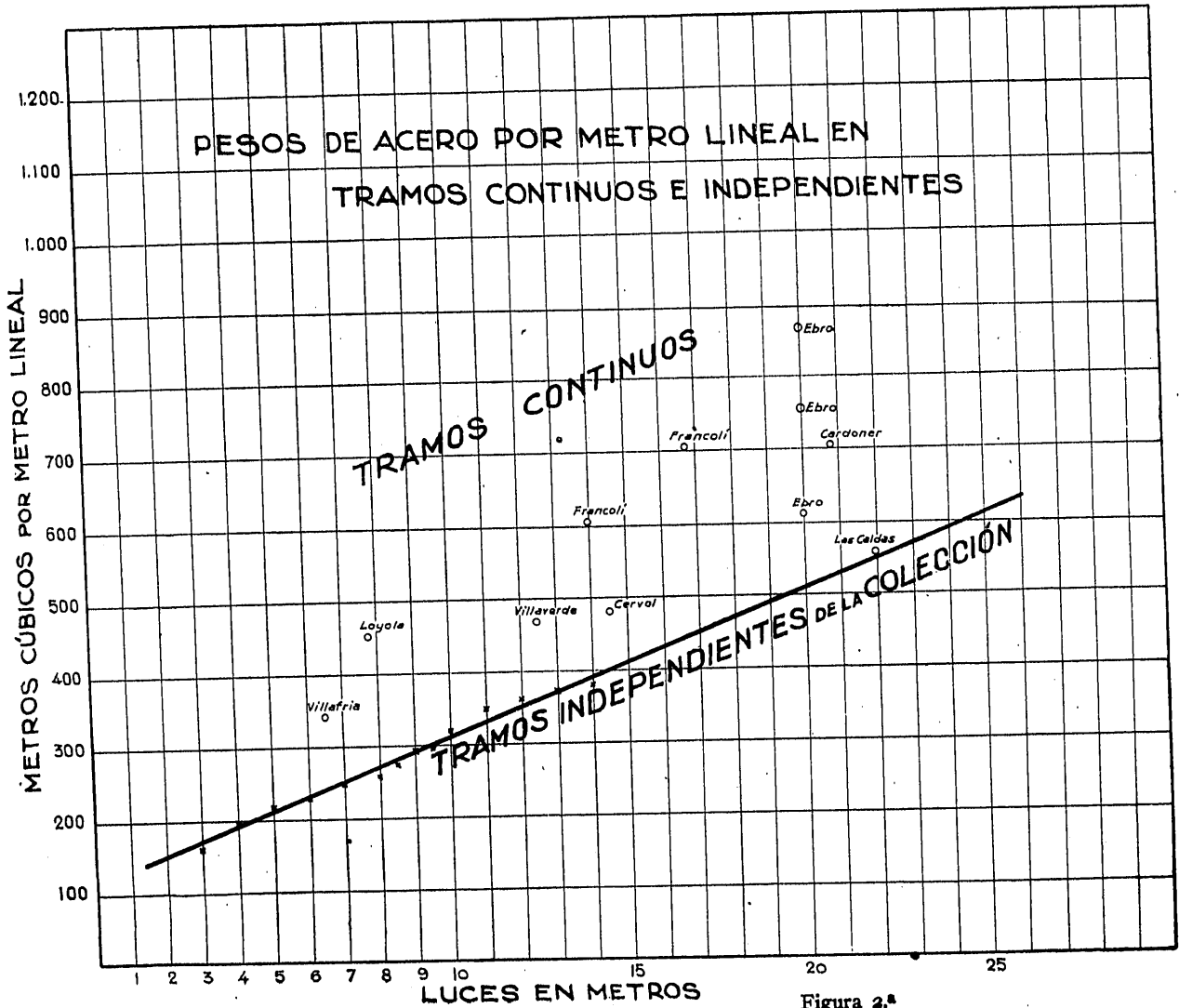


Figura 2.^a

b) *Peso total de acero.*

En los tableros independientes el peso de acero por metro lineal sigue próximamente una ley lineal, como se representa en el gráfico de la figura 2.^a. En él también representamos los pesos de acero de los

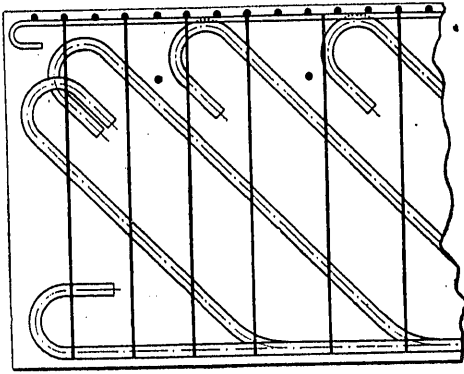


Fig. 3.^a — Disposición de las armaduras en el apoyo de un tramo independiente.

tramos continuos que, como vemos, son ligeramente superiores a los independientes, debido a la colocación de redondos en las cartelas y al levantamiento de barras por el cambio de signo de los momentos.

Esta circunstancia es digna de tenerse en cuenta no sólo por lo que aumenta el peso, sino por lo que complica la construcción de la obra a causa de la distribución, coste y doblado y colocación de redondos de distintas longitudes. En las figuras 3.^a y 4.^a indicamos la disposición de las armaduras sobre los apoyos en un tablero independiente y en otro continuo. Como puede verse, la complicación es mucho mayor en este último.

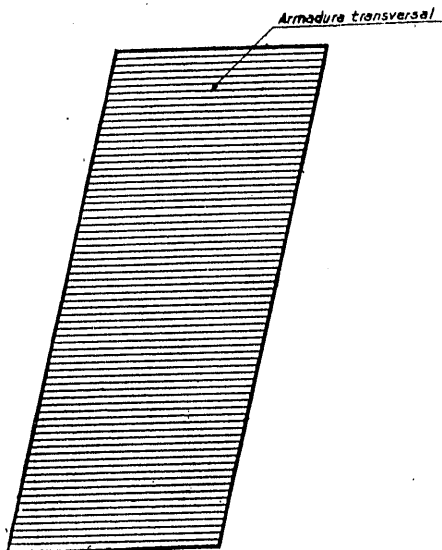


Fig. 5.^a — Disposición de la armadura transversal, en tableros de pequeña oblicuidad.

c) *Tramos oblicuos.*

Los gráficos de pesos de acero los hemos dibujado para puentes rectos.

En el caso de puentes oblicuos, la diferencia no es muy grande, ya que la armadura longitudinal es la misma.

En cuanto a la armadura transversal, pueden colocarse los redondos paralelamente a los estribos (figura 5.^a) o normalmente al eje de la vía, y reforzar los tableros con una armadura paralela a los estribos en la zona próxima a los apoyos (fig. 6.^a).

La primera solución es más sencilla de construcción y colocación, y debe emplearse siempre para pequeñas oblicuidades (hasta 35 ó 40 grados).

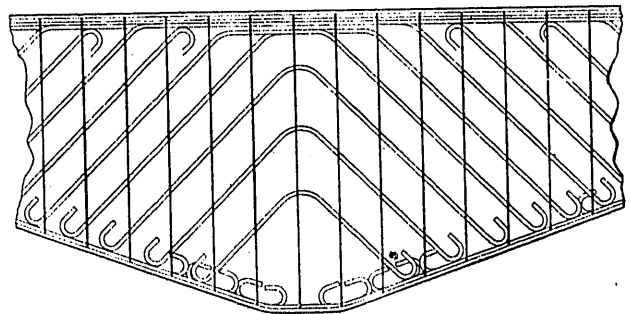


Fig. 4.^a — Disposición de las armaduras en el apoyo de un tramo continuo.

Sin embargo, como requiere mayor cantidad de acero, principalmente al aumentar la oblicuidad y la luz, creemos es preferible el empleo de la segunda para excentricidades superiores a 40°.

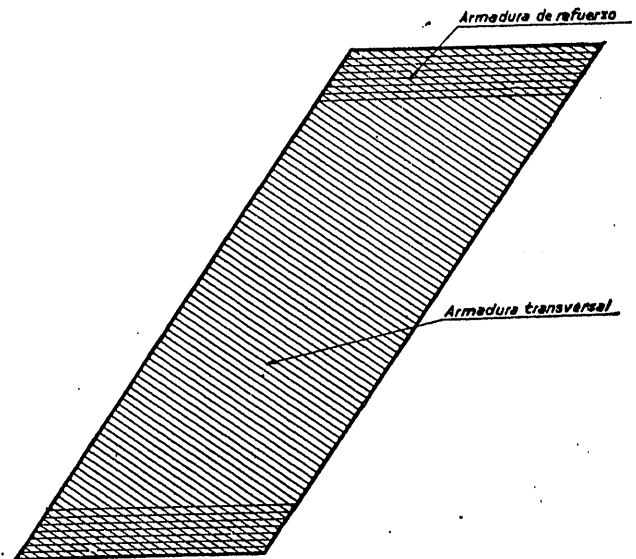


Fig. 6.^a — Disposición de las armaduras transversal y de refuerzo en tableros muy oblicuos.

d) *Canto mínimo.*

El canto mínimo en el centro del vano es siempre menor en los tramos continuos que en los independientes. En la figura 7.^a se representan los cantos de diversos tableros y vemos puede trazarse una recta por encima de la cual quedan los tramos independientes, y, por debajo, los continuos. La razón es la ya citada al hablar de los volúmenes de hormigón; en los tramos continuos los momentos en el centro del vano son menores que en los apoyos, lo que permite la disminución del canto.

Las ventajas de que el canto sea menor y quede más altura en el centro son evidentes, y ya tratamos de ellas al comparar las losas con los tableros. Debido a esta circunstancia, se han empleado tramos continuos, entre otros, en los puentes de Las Caldas, de la línea de Santander; del Ebro, en la línea de Zaragoza-Alsasua; de Cervol, en la de Valencia-Tarragona, y losa continua en el paso inferior de Loyola, ya citado.

e) *Armadura simétrica o disimétrica.*

Otras veces, para disminuir el canto, ha sido necesario aumentar la cantidad de acero, colocando armadura simétrica o disimétrica, tanto en puentes con tramos independientes como con tramos continuos.

Veamos algunos ejemplos de puentes proyectados o construidos:

1.º En el puente de Llobregat, en construcción, construido por tableros continuos de 20 m. de luz, con armadura asimétrica, el canto es de 1,60 m.; el peso de acero, 644 Kg./m.; el volumen de hormigón, 2,63 m.³/m., y la cuantía de kilogramos por metro cúbico, 244. Si se hubiera empleado armadura simétrica se hubiera podido reducir el canto a 1,05 y el volumen de hormigón a 2,47 m.³/m., aumentándose en cambio el acero a 727 Kg./m., y la cuantía a 294 kilogramos por metro cúbico. Como se ve, la diferencia de materiales es relativamente pequeña en este caso.

2.º En la sustitución de los puentes de Sosa, ba-

TABLEROS INDEPENDIENTES Y CONTINUOS

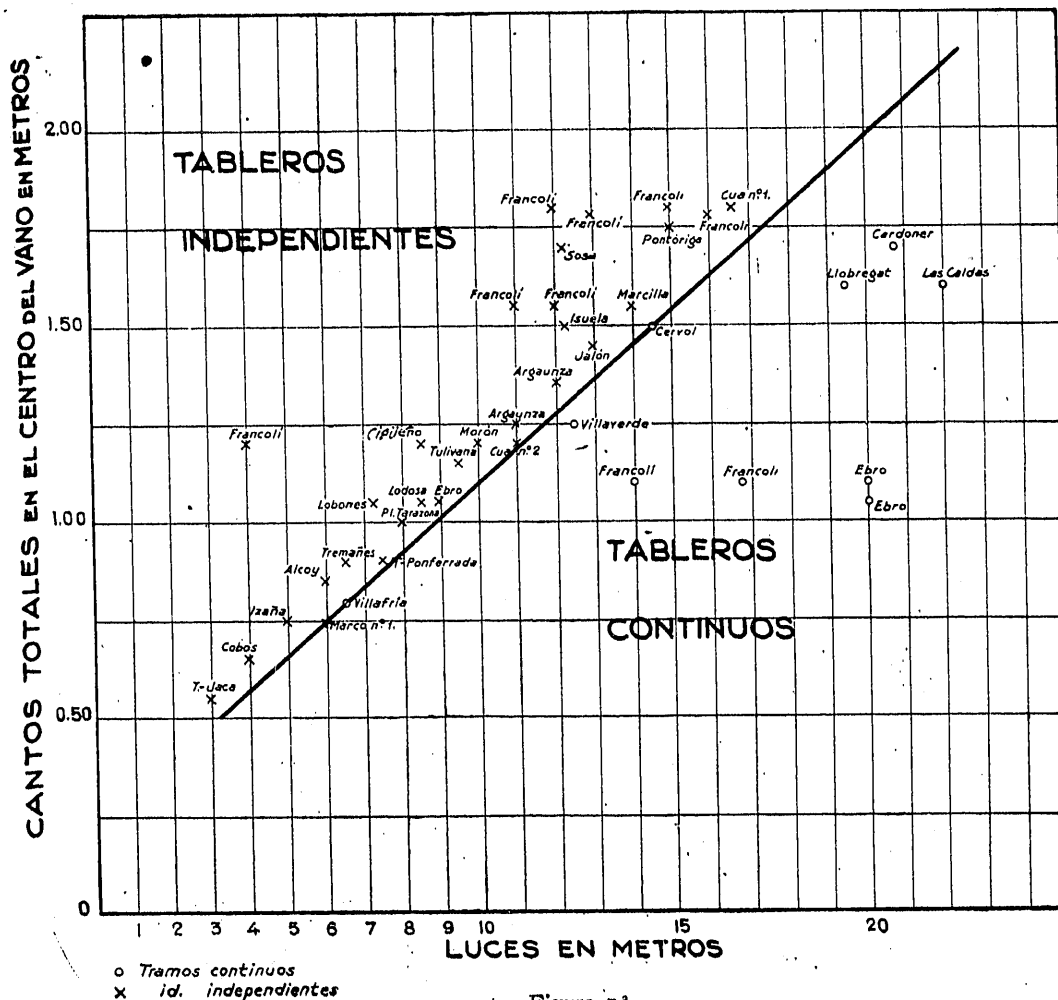


Figura 7.^a

rranco de Tormillo e Isuela, de la línea Zaragoza a Barcelona, se emplearon tableros independientes, de hormigón armado, de 12,25 m. de luz libre. En los dos primeros, el desagüe era suficiente, y se proyectaron con armadura asimétrica; pero en el segundo, fué preciso disminuir el canto, colocando armadura disimétrica. Los cantos y materiales, por metro lineal, fueron los siguientes:

	Canto	Volumen de hormigón m. ³ / m. l.	Peso de acero por m. l.	Kgs. de acero por m. ³ de hormigón
Sosa, Tormillo.	1,70	2,65	363	137
Isuela.	1,50	2,42	502	207

3.º En la sustitución de los pontones de la línea León-Ponferrada fué también preciso emplear un tablero de 7,50 m., armado con armadura disimétrica, por necesidad de desagüe.

La variación de los cantos y materiales, con respecto al tablero tipo, fué la siguiente:

	Canto	Volumen de hormigón m. ³ / m. l.	Peso de acero por m. l.	Kgs. de acero por m. ³ de hormigón
Tablero empleado . .	0,90	1,700	378	223
Idem de la colección-tipo.	1,00	1,800	249	138

4.º Comparemos, finalmente, un tablero de 5,50 metros de luz, armado con armadura simétrica, con el de la colección. Tenemos así:

	Canto	Volumen de hormigón m. ³ / m. l.	Peso de acero por m. l.	Kgs. de acero por m. ³ de hormigón
Con armadura simétrica	0,73	1,46	388	266
Tablero tipo.	0,80	1,65	227	137

En los ejemplos segundo, tercero y cuarto, con tramos independientes, observamos que, para una disminución del canto y del volumen de hormigón, próximamente de un 10 por 100, se hace preciso un aumento de acero del 40 al 70 por 100; mientras que, en los tableros continuos (ejemplo 1.º), se puede obtener una reducción mucho mayor del canto con un aumento

de armaduras sólo del 10 al 15 por 100. Esto se debe a la posibilidad de construir estos últimos con altura variable, disminuyendo el canto en el centro.

f) Otros factores.

Veamos ahora otras circunstancias que pueden influir en la adopción de una u otra solución.

I. En favor de los tramos independientes.

1.º Facilidad de construcción en cuanto a colocación y distribución de armaduras, especialmente en los apoyos; facilidad que se aprecia sobre todo en tableros de pequeñas luces.

2.º Más sencillez de encofrado y posibilidad de emplear el mismo tipo al construir una serie de puentes en el mismo trayecto. Así, al estudiar la sustitución de los puentes y pontones metálicos de la línea Tardienta a Jaca, se emplearon, en el puente Tulivana número 2, dos tableros independientes, de 9,50 m. de luz libre, de tipo análogo a los proyectados para sustituir los 21 pontones de la línea. Este aprovechamiento del encofrado es particularmente importante, si se dispone de moldes metálicos. En cuanto a la superficie de encofrado por metro lineal (fig. 8), para luces inferiores a 15 m., aumenta con la luz y es próximamente igual en los tableros independientes y continuos. Pero en estos últimos se mantiene sensiblemente constante al crecer las luces, debido a la disminución de altura de las vigas en el centro del vano. Únicamente en el puente de Las Caldas viene compensada esta disminución por la gran altura de las cartelas curvas sobre los apoyos, por lo que resulta con una superficie de encofrado igual a la de los tramos independientes.

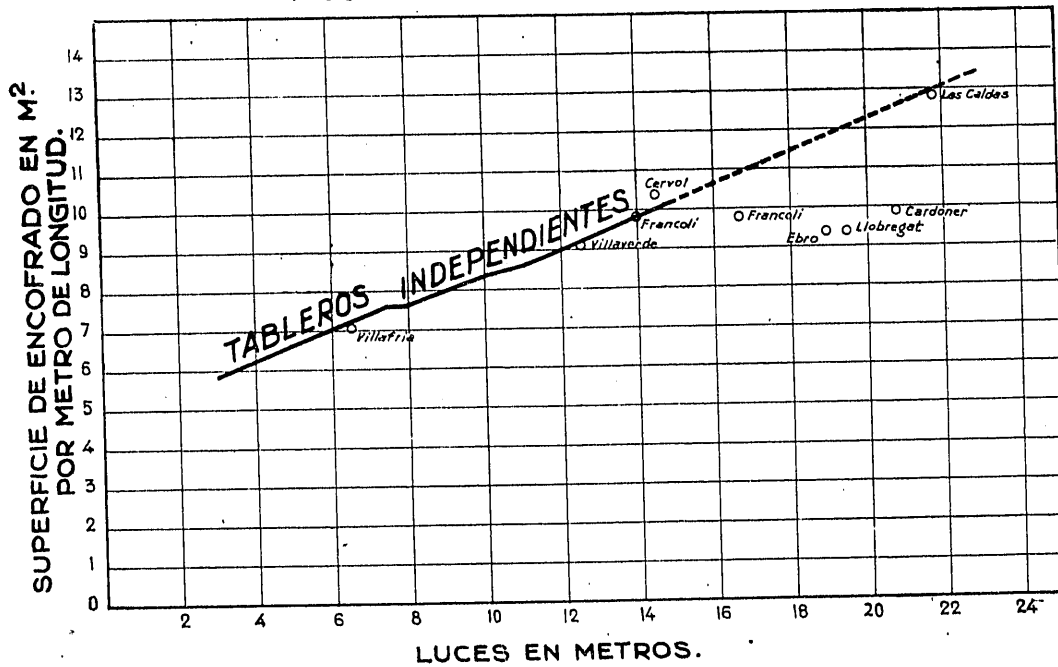
En cambio, la superficie de encofrado, por metro cúbico de hormigón (fig. 9), es siempre prácticamente la misma en los tramos continuos e independientes, ya que, en aquéllos, la superficie total de encofrado es menor que en éstos pero también su volumen de hormigón es menor, como vimos en la figura 1.ª

3.º Supresión de los acartelamientos, evitándose la ya citada complicación de armaduras y encofrados, especialmente en el caso de cartelas curvas (fig. 10).

Aunque, en algunos casos, no se han proyectado cartelas en los tramos continuos, deben, sin embargo, emplearse, ya que, de otro modo, se desaprovechan las ventajas que ofrecen éstos en cuanto a adaptación a la ley de momentos, ahorro de hormigón, disminución del canto en el centro y aumento de desagüe.

4.º La cimentación de los tramos continuos ha de ser muy buena, para que haya seguridad de que no se han de producir asientos, que originarían varia-

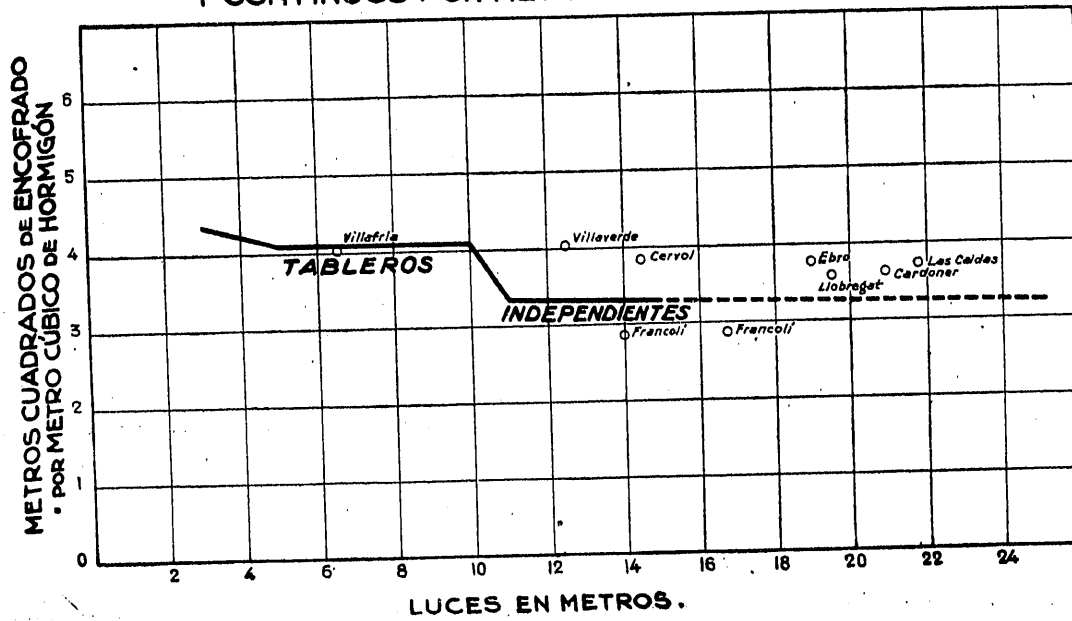
SUPERFICIE DE ENCOFRADO EN TABLEROS INDEPENDIENTES Y CONTINUOS POR METRO LINEAL.



○ TABLEROS CONTINUOS

Figura 8.ª

SUPERFICIE DE ENCOFRADO EN TABLEROS INDEPENDIENTES Y CONTINUOS POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN



○ TABLEROS CONTINUOS

Figura 9.ª

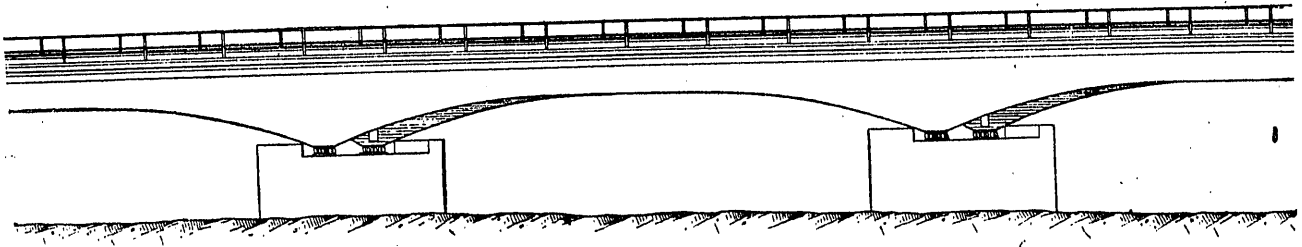


Fig. 10. — Solución con tablero continuo.

ciones de la ley de momentos, con la consiguiente aparición de grietas e incluso rotura del tramo, al no adaptarse ya las armaduras a la ley de momentos, para la que fueron calculados.

Este factor es muy digno de tenerse en cuenta, pues, en la mayoría de los casos, el aumento de precio que puede suponer el empleo de tramos independientes viene de sobra compensado con el ahorro obtenido en la cimentación. Así ha ocurrido en los puentes de Olite y Pueyo, de la línea de Navarra, proyectados con dos tramos independientes sobre una pila intermedia; en los puentes de Sosa, Isuela y Barranco de Tormillo, ya citados; en los de la línea Villalba a Medina, por Segovia; en los de Cua y Burbia, de la línea de Galicia, y en los de la línea de Venta de Baños a Santander, construídos todos ellos por tramos independientes.

Aun cuando la cimentación sea buena, puede también ser ventajoso, en algunos casos, el empleo de tramos independientes, como ha tenido lugar en la sustitución de los puentes de Arganza, de la línea Madrid-Hendaya, y de Lobones, de la línea de Segovia. Debido a poder cimentarse directamente uno y dos metros de profundidad, ha resultado económica la colocación de pilas intermedias y tableros independientes de 10 y 7,50 m. de luz, respectivamente, en los que el volumen de hormigón y el peso de acero por metro lineal es mucho menor que si se hubieran empleado tableros continuos de doble luz. Por otra parte, tratándose de pequeñas luces, no hay ventaja apreciable en el empleo de vigas continuas, ya que el pequeño ahorro de hormigón viene de sobra compensado por la disminución y sencillez

de armaduras y por la facilidad de construcción al tratarse de tramos iguales.

II. En favor de los tramos continuos.

1.º En general, tienen más elegancia de silueta (figuras 10 y 11). Esto puede ser, a veces, decisivo en puentes situados en poblaciones o en pasos inferiores, en carreteras de mucho tránsito.

2.º Posibilidad de adaptarse mejor a la ley de momentos, sobre todo si los tramos extremos son de menor luz que los centrales, ya que, en este caso, pueden resultar, aproximadamente, iguales los momentos máximos en todos los vanos, no obstante ser el momento nulo en los extremos del puente (figura 12). Esta semejanza de momentos permitirá la adopción de tableros de igual canto en todos los vanos, sin aumento de las armaduras o del volumen de hormigón. Sin embargo, la distribución de las luces viene, a veces, obligada por la necesidad de aprovechar las pilas existentes, como en el puente de Cervol, de la línea Valencia a Tarragona, de luces 16,03, 13,25 y 12,60 m., o por otras circunstancias, como en el paso inferior de Loyola, citado en el artículo anterior. Pero, aun en estos casos, se obtiene una disminución del volumen de hormigón respecto a los tramos independientes, como ya vimos en la figura 1. Y así, por ejemplo, para el puente de Cervol, el volumen de hormigón por metro lineal es igual al que resultaría si todos los tramos fuesen de 13 metros de luz, a pesar de ser uno de los laterales de 16,03 metros de luz y tener todos el mismo canto.

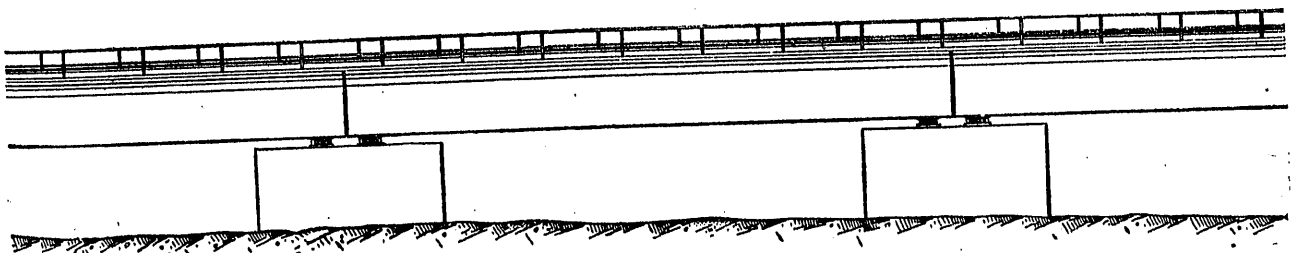


Fig. 11. — Solución con tableros independientes.

3.º La conveniencia de aprovechar las pilas antiguas hace imposible, a veces, el empleo de tramos independientes, sobre todo si se trata de luces superiores a 20 m. Así ha ocurrido en los puentes de Las Caldas, de la línea de Venta de Baños a Santan-

RESUMEN

En general, podemos decir que si las luces no son muy grandes (hasta 15 ó 16 m.), o si la cimentación no es completamente segura, o si no existe pro-

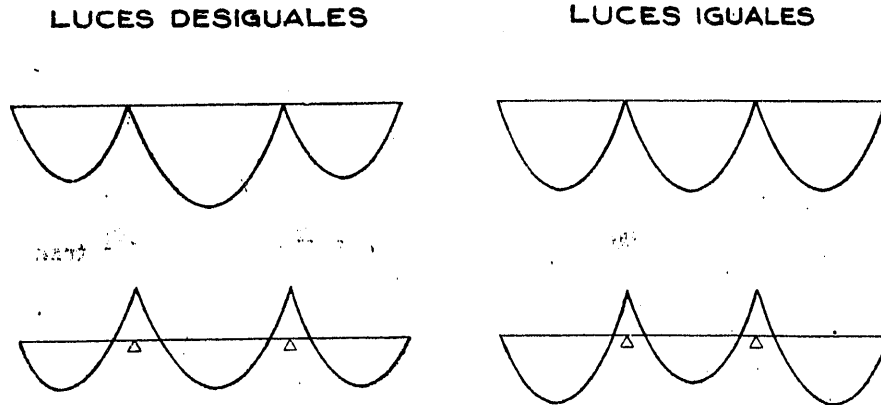


Fig. 12.—Leyes de momentos flectores, en tableros independientes y continuos.

der, constituido por dos tramos de 21,20, y tres, de 22,40 m., y de Cardoner, de la línea de Zaragoza a Barcelona, compuesto por cinco vanos de 20,80 metros de luz, en los que los tableros independientes resultarían de dimensiones excesivas, y no había, por otra parte, facilidad de colocar pilas intermedias, y dividiendo las luces, por dificultades de desagüe y cimentación.

blema de desagüe, es más conveniente la solución con tramos independientes, en los que la cantidad de acero es siempre menor, y la de hormigón, por metro lineal, es muy poco superior.

Pero si las luces aumentan o existen dificultades de desagüe, o de altura de rasante, o hay seguridad en la cimentación, será preferible el empleo de los tramos continuos.

