

Algunas consideraciones acerca de la longitud de las traviesas para vía normal

II

Descriptas en un artículo anterior (1) las notables experiencias de Zimmerman y Ast, paso ahora a ocuparme de las de dos ilustres ingenieros franceses.

Experiencias de Couenot y Couard.—La opinión de Couard sobre este asunto es bien interesante y fundada en sus múltiples experiencias, que han dado lugar a la redacción de copiosa literatura publicada en *La Revue Générale des Chemins de Fer*, y tuve la satisfacción, a las pocas páginas leídas de aquellos trabajos, de comprobar la coincidencia de mi opinión con la de Couard, a pesar de que éste dedicó más especialmente sus experiencias a la determinación de la manera de trabajar de los carriles, pero

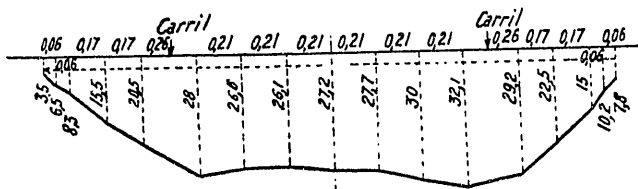


Fig. 3.ª Curva media de las traviesas de madera números 1, 2, 3, 4 (carriles P. L. M. -A.)

hizo también ensayos con las traviesas, y de sus deducciones se derivan consecuencias parecidas a las mías.

Evidentemente están muy ligados estos estudios con los de las traviesas y se deduce, en efecto, de las

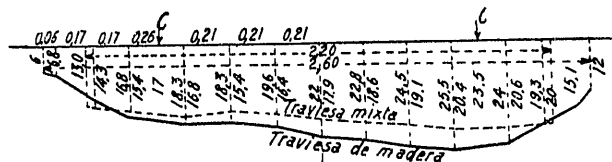


Fig. 4.ª Curvas medias de las traviesas de madera números 5, 6, 7, 20 (carriles P. L. M.) y de las traviesas mixtas

conclusiones y afirmaciones de Couard que los principales defectos e inconvenientes que señala para el carril son debidos a que las traviesas sobre que descansan aquéllos que fueron objeto de experiencias eran largas y acarrearán a los carriles los inconvenientes que acusaban los ensayos, y aunque en algunos casi no lo indica claramente, las circunstancias que señala bien acusan las causas que apunto.

Para mayor ordenación y claridad, comenzaré por las experiencias de Couenot, que se ocupó muy especialmente de las traviesas, y en los momentos oportunos recordaré y copiaré las opiniones y conclusiones de Couard.

Coincide Couenot en los estudios que hizo en 1903 con los experimentadores alemanes en considerar completamente distintas las curvas de deformación de las traviesas (siempre se habla de vía europea), según fuesen cortas 2,20 a 2,40 m y 2,60 a 2,70 m, y justifica lo mismo que aquéllos las diferentes for-

mas de aquéllas por la flexibilidad y elasticidad del balasto y traviesas que se deforman distintamente, según la disposición relativa de los puntos de carga de los carriles con relación a los extremos de las traviesas.

Para deducir consecuencias hizo detenidas experiencias, utilizando traviesas de madera de tipo corriente y diversas dimensiones y traviesas mixtas, dispuestas con dos largos tacos de madera, correspon-

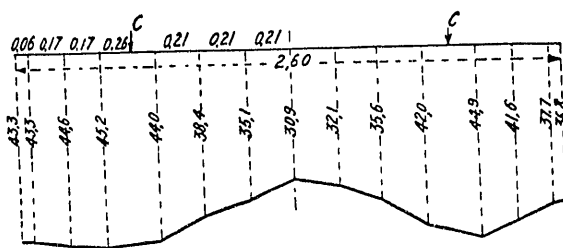


Fig. 5.ª Traviesa de madera de 2,60 por 0,22 m bateada en toda su longitud

dientes a la zona de apoyo y sujeción de los carriles y bateado de ellas, unidos por dos hierros suficientemente resistentes y rígidos, transversalmente.

En las figuras 3.ª a 6.ª se indican las deformaciones experimentadas por cuatro traviesas de las conceptuadas como largas de 2,58 a 2,70 m.

En estos diagramas, para mayor claridad en la representación, se adoptan escalas diversas de verticales y horizontales, la de aquéllas 200 veces mayor que la de éstas.

Se aprecian en ellos en su parte superior la línea representativa de la forma de la traviesa sin carga, es decir, una línea recta horizontal, y en la parte

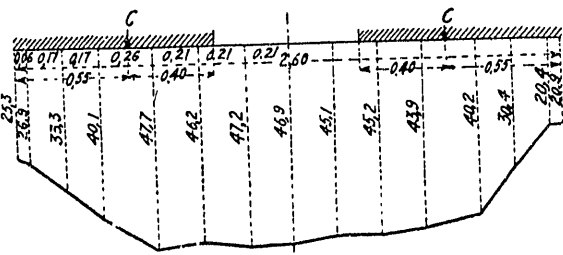


Fig. 6.ª Traviesa de madera de 2,60 por 0,22 m bateada por un extremo

inferior el diagrama deformado, comprobándose en las cuatro figuras la misma forma general.

Se aprecia un levantamiento correspondiente a la zona central de la vía, que descende bastante rápidamente hasta colocarse debajo de los carriles, experimentando entonces la traviesa fuerte y señalada flexión, con evidente cambio de curvatura, elevándose la traviesa en ambos lados hasta sus extremos en formas varias, bien siguiendo alineaciones sensiblemente rectas y sin puntos angulosos, o bien, como, sobre todo, ocurre en la figura 6.ª, una nueva flexión.

Las cotas señaladas verticalmente dan clara idea numérica de la importancia relativa de las deformaciones.

(1) Véase el núm. 2 425, página 115 de la REVISTA.

de la traviesa tienen mayor tendencia a levantarse.

No se puede disminuir el hundimiento o descenso de la traviesa aumentando su longitud; por el contrario, además de inútil, puede este alargamiento presentar el grave inconveniente de aumentar su flexión.»

sión del balasto, apoyándose la traviesa en los bordes superiores de esta depresión; al paso de las cargas, aunque sean de poca importancia, las traviesas, flexionándose, toman contacto con el balasto, hasta llegar al fondo de la depresión; a partir de este momento el descenso de la traviesa es proporcional a la carga.

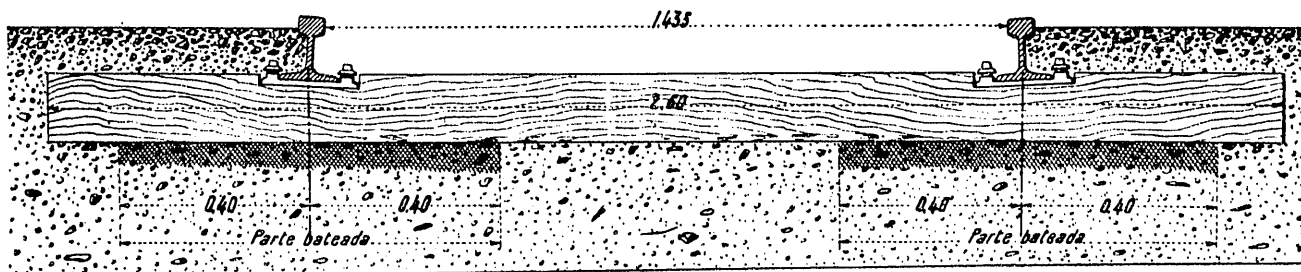


Fig. 9.ª Traviesa de madera bateada normalmente. Disposición de su apoyo sobre el balasto antes del paso de trenes

Se han hecho por Couenot experiencias para deducir de este modo la longitud de la traviesa de madera de mínima flexión, y ha deducido:

a) Las traviesas largas 2,40 a 2,60 m afectan la forma de una cubeta central con levantamientos laterales con fuerte flexión.

b) Las traviesas cortas 2,20 y 2,40 m se deforman en disposición de cubeta, pero sin cambio de curvatura ni flexión acentuada.

c) Las traviesas de 2 a 2,20 m no tienen flexión en cantidad perceptible y descenden paralelamente asimismo, pudiéndose considerar esta longitud como la de flexión mínima.

Como consecuencia de las repetidas deformaciones de la traviesa al paso de los trenes, comprimiendo

Esto da lugar a una muy mala conservación de la traviesa.»

Volviendo a los estudios de Couenot, éste dice que la flexión exagerada de la traviesa puede acarrear la dislocación de las juntas y la deformación del carril, debido todo ello únicamente al exceso de longitud de la traviesa.

Cita Couenot en apoyo de sus afirmaciones un curioso caso que ocurrió en las líneas del Midi, que es en realidad interesante.

Indica hubo época en la que presidió el criterio de emplear traviesas muy largas, de 3 m, con el objeto de que cuando alguna de ellas se inutilizase en la zona de apoyo del carril, sacarla de la vía, y cortando uno de sus extremos, determinada cantidad (0,50 m),

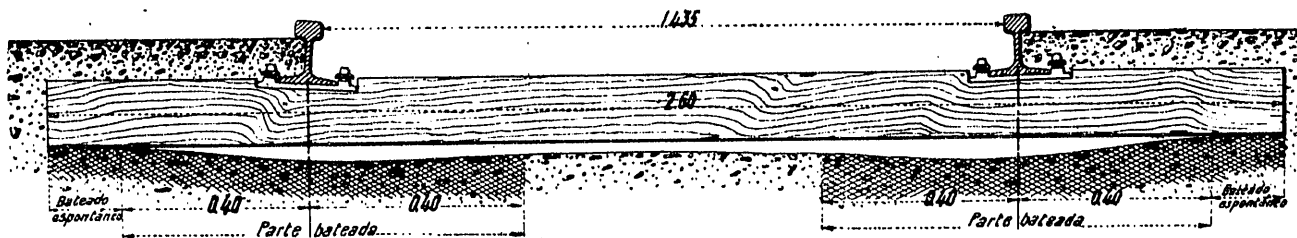


Fig. 10. Traviesa de madera bateada normalmente. Disposición de su apoyo sobre el balasto después del paso de 500 trenes

al balasto, éste llega a tener una forma análoga a la de la cara inferior de la traviesa.

En las figuras 9.ª y 10 se representa la disposición de una traviesa de madera, recién colocada y bateada normalmente, estando horizontales y en contacto la cara inferior de aquella y la superior del balasto.

Pero después del paso de un buen número de trenes, el balasto, debido a las compresiones de las traviesas, toma la forma ya conocida, y las traviesas, al recobrar y rectificarse al quedar libres de las cargas, adoptando disposición rectilínea, queda apoyada por sus extremos en el balasto, según se comprueba en la figura 10, quedando un espacio vacío debajo de la traviesa, hasta el balasto.

Esta misma observación hizo Couard en sus experiencias, y lo explica en su artículo de julio de 1897:

«Debo convenir en que las traviesas unidas al carril quedan en ciertos puntos suspendidas por encima del balasto y debajo del carril se forma, inferiormente a las traviesas, aun en las mejor bateadas, una depre-

volver a colocarla, con otras superficies de contacto de carril y traviesa.

Ocurrió que las líneas en que se hizo esta operación empeoraron rápidamente, pues las traviesas largas que todavía existían, dada la forma de trabajar, quedaban más altas que las más cortas (diferencias de 0,50 m), puesto que éstas no se flexaban de un modo tan acentuado y no perdían el contacto con el balasto.

En la figura 11 se aprecia que una traviesa mixta de 2,20 m no perdió el contacto ni deformó el balasto después del paso de 500 trenes.

Ya se ha indicado que las traviesas cuyas longitudes (siempre para vía europea) varían de 2 a 2,20 m son las que pueden considerarse como de mínima flexión; sin embargo, Couenot no las aconseja como convenientes en la realidad, por presentar el posible inconveniente, dada la proximidad de los puntos donde se coloca la clavazón de sujeción del carril a los extremos de la misma, de que se presenten grietas desde la clavazón a dichos extremos.

Por ello recomienda la traviesa de 2,35 m, que evita este inconveniente y en ella la flexión es pequeña y siempre en un sentido.

Couard también, en su estudio de 1897, recomienda, abundando en las ideas que presiden este trabajo, aumentar la sección de las traviesas para mejorar las condiciones de la vía; pero no señala como prudente el alargar su longitud.

A requerimientos de *Couenot*, se hicieron experiencias en el Laboratorio de *L'Ecole des Ponts et Chaussées*, por *Mesnager*, que confirmaron las mismas conclusiones acerca de la inutilidad de una pieza larga apoyada en materiales flexibles no aprovechándose toda su longitud por el trabajo y sí solamente una parte mayor o menor, según las condiciones de los materiales en la proximidad de las cargas.

Estimo oportuno hacer un ligero comentario al finalizar de transcribir los estudios de *Couard* y *Couenot*.

De los estudios de los ingenieros alemanes se deduce bien claramente que admitían y aun recomendaban las traviesas largas, en algunos casos, pensando

para lo cual deberán sus dos dimensiones transversales aumentarse cuanto se pueda, dadas las condiciones de los árboles de que se obtengan y el coste económico de ellas, no debiendo su cara inferior tener un ancho menor de 0,24 m.

c) La longitud de las traviesas debe acercarse cuanto se pueda a la flexión mínima; pero siendo quizás inconveniente la longitud de ésta (2 a 2,20 m), por no existir demasiado material desde la zona de la clavazón a su extremo, pudieran hacerse grietas o rajaduras, su longitud debe tener 2,36 m.

d) El balasto debe ser de la mejor calidad: siempre que sea posible, de piedra machacada, con un coeficiente (*Zimmerman*) de 8, y cuando no fuese esto factible, no debe bajar, si fuese de grava, de 4 a 5, y, en este caso, las dimensiones de las traviesas serán las necesarias para que la presión sobre una zona de balasto de unos 0,35 m a cada lado del carril en el sitio donde es realizado el bateado eficaz, no pase de 2 kg : cm².

Aplico ahora a continuación estas conclusiones a la vía española.

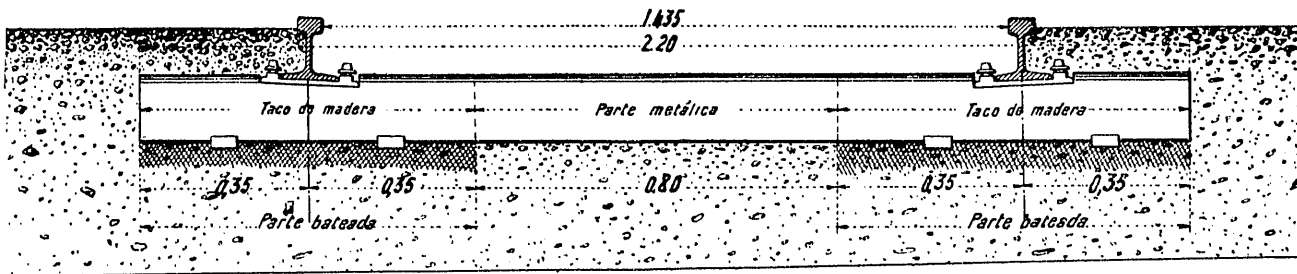


Fig. 11. Traviesa mixta bateada normalmente. Disposición de su apoyo sobre el balasto después del paso de 500 trenes

(equivocadamente, como luego se ha demostrado) que el reparto de la presión se hacía en mejores condiciones, llegándose a presiones unitarias menores, creyendo que dicha presión se transmitía por toda la superficie de contacto y reconociendo, por otra parte, los graves inconvenientes de las traviesas largas para la conservación de la madera.

De las modernas experiencias se deduce que la transmisión de presiones no se hace en la forma que aquéllos creían, y que sólo se transmiten en zonas limitadas, dependientes más bien del ancho de la traviesa, bateado y calidad del balasto, y se confirman los muchos inconvenientes ya señalados a las traviesas largas y se han apreciado otros.

¿Qué ventaja queda para las traviesas largas?

Sinceramente he de decir no encuentro ninguna.

Con esto doy por terminado cuanto *Couard* y *Couenot* han dilucidado con sus experiencias, que, en realidad, han aclarado por completo este problema.

Estudios de Rosche.—Sobre esta misma cuestión realizó este insigne ingeniero profundos estudios, llegando a conclusiones interesantes por lo que se refiere al modo de mejorar notablemente las condiciones de resistencia de la vía.

Dichas conclusiones son:

a) Emplear el máximo número de traviesas, lo más próximas que permita el fácil y eficaz bateo de ellas con las herramientas de que se disponga.

b) Para evitar deformaciones de la vía, que pudieran ser perjudiciales, deberán las traviesas que se empleen tener la mayor rigidez transversal posible,

a') Puede aceptarse íntegramente, estimándose la actual separación de las traviesas, dispuesta para los carriles de 12 m, de 32,500, 40 y 45 kg por metro lineal, colocando 18, 19 y 20 por pareja, según las circunstancias, como suficientes para las necesidades actuales de la explotación y las que en mucho tiempo han de presentarse.

b') Pueden aceptarse estas conclusiones, estimando igualmente que las dimensiones transversales prescritas en los pliegos de condiciones vigentes son suficientes.

c') La diferencia entre el ancho de las dos vías europea y española es, como se sabe, de 0,24 m; añadiendo esta cantidad a la longitud recomendada para las traviesas europeas de 2,36 m, resulta la propuesta para nuestras traviesas de 2,60 m.

d') Íntegramente puede ser aceptada, y si en los cálculos que a continuación habrán de ser realizados, aun en el caso más desfavorable, resulta la presión unitaria sobre el balasto inferior a 2 kg : cm².

En las traviesas empleadas en M. Z. A., el ancho mínimo que se admite es 0,24 m, y de éstas sólo el 25 por 100, siendo el resto de 0,26 y 0,28 m de ancho.

La carga que la traviesa transmite al balasto en una vía bien conservada varía, según cuantos experimentadores han publicado el resultado de sus trabajos, entre 0,25 a 0,50 de *P*, siendo *P* la carga del eje o rueda y dependiendo la adopción del coeficiente de reducción correspondiente de la separación de los ejes de la máquina de que se trate; es decir, que para igual estado de conservación de la vía el coefi-

ciente será más fuerte, según los ejes estén menos alejados.

La carga que se debe hacer entrar en cálculos será, por carril, $0,50 \times 8\,000 \text{ kg} = 4\,000 \text{ kg}$, puesto que los ejes más pesados actuales no pasan de $16\,000 \text{ kg}$ de peso.

Para estos cálculos, y procediendo en orden inverso, deduciré la longitud mínima que debe tener una traviesa para poder resistir sin inconveniente el peso de las cargas reales.

Adopto como zona máxima de bateado útil de las traviesas la de unos $0,50 \text{ m}$ a cada lado del eje de carril, y, conocidas estas premisas, vamos a deducir la longitud mínima de traviesa, para que no hagan trabajar al balasto más de $2 \text{ kg} : \text{cm}^2$.

Ancho entre bordes interiores de carriles de la vía española, $1,674 \text{ m}$.

Separación entre ejes de carriles (vía de 45 kg por metro lineal), $1,740 \text{ m}$.

Realizaré el cálculo con los tres tipos de anchos de traviesa antes señalados:

Traviesas números 1 y 4. Ancho, $0,24 \text{ m}$ (la más desfavorable).

$$\frac{4\,000 \text{ kg}}{0,24 \times x} = 2 \text{ kg} : \text{cm}^2 x = 0,82 \text{ m}$$

Longitud mínima de traviesa

$$1,740 \text{ m} + 0,82 \text{ m} = 2,56 \text{ m} < 2,60 \text{ m}$$

Traviesas números 2 y 5. Ancho, $0,26 \text{ m}$.

$$\frac{4\,000 \text{ kg}}{0,26 \times x} = 2 \text{ kg} : \text{cm}^2 x = 0,76 \text{ m}$$

Longitud mínima de traviesa

$$1,740 \text{ m} + 0,76 \text{ m} = 2,500 \text{ m} < 2,60 \text{ m}$$

Traviesa número 3. Ancho, $0,28 \text{ m}$.

$$\frac{4\,000 \text{ kg}}{0,28 \times x} = 2 \text{ kg} : \text{cm}^2 x = 0,71 \text{ m}$$

Longitud mínima de traviesa

$$1,740 \text{ m} + 0,71 \text{ m} = 2,450 \text{ m} < 2,60 \text{ m}$$

Resumen

De todos estos estudios y acopio de opiniones deduje no se encontraban inconvenientes técnicos para la adopción para la vía española de la longitud de traviesa de $2,60 \text{ m}$.

Se han hecho las oportunas indicaciones, en justificación de la situación verdaderamente angustiosa por la cual no se encontraban otras traviesas que las de longitud europea, o sea $2,60 \text{ m}$.

Por todo ello propuse, y fué aceptada mi propuesta, para el empleo, si no definitivo, sí como ensayo en grande de dichas traviesas, y desde el año 1922 al presente se han colocado en las diversas líneas de M. Z. A. más de un millón de traviesas, sin que hasta ahora se hayan observado inconvenientes por ello, ni en lo que se refiere a la conservación de la vía, muy cuidada y atendida en dicha Compañía, ni por lo que a su conservación especial, esperando confiadamente no habrá inconveniente en adoptar como definitiva dicha longitud.

Aparte de las consideraciones expuestas, reportaría la adopción de esta nueva longitud una economía anual en el consumo de madera de unos $11\,000 \text{ m}^3$, o sea el 6 por 100 aproximadamente del consumo actual.

Domingo MENDIZÁBAL
Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Nota sobre el cálculo de nervios de hormigón armado

II

Cumpliendo la promesa que formulé en los primeros renglones de mi artículo anterior (I), detallaré a continuación el cálculo de secciones en T de hormigón armado, cuando se admita que los forjados adyacentes al nervio colaboran íntegramente con éste en su trabajo; es decir, que ahora se considera la flexión longitudinal del tablero, soportada por el conjunto de forjados y nervios que le constituyen.

Forma y dimensiones del tablero

Consideremos el tablero constituido por nervios que distan entre sus ejes $b \text{ cm}$ (dimensión previamente fijada) y que se enlazan superiormente por forjados cuya luz de cálculo o distancia entre los arranques de las fuertes cartelas que los unen con aquéllos sea de $l \text{ cm}$ (fig. 1.^a).

Calculados previamente los forjados, se determinará para ellos un espesor en el centro de $e \text{ cm}$, en los arranques de $e' \text{ cm}$ y una longitud para sus propias cartelas de $a \text{ cm}$. El expuesto es el caso de máxima complicación que puede ofrecerse en el cálculo de que se trata, pues en él se considera el contorno de perfil más complejo que se puede presentar en la práctica.

Se supone el nervio armado disimétricamente con una armadura inferior de sección $a \text{ cm}^2$ y canto $c \text{ cm}$ y una armadura superior de sección $a' = ka \text{ cm}^2$ y un canto de $c' \text{ cm}$, estando ambos cantos ligados por la relación $c' = 0,05c$, que se adapta bastante bien a las necesidades de la construcción en este género de obras.

Hipótesis y condiciones impuestas

Se admite la hipótesis generalmente aceptada de que el hormigón no trabaja a tracción, siendo recogidos estos esfuerzos por la armadura inferior en su

(1) Número 2 425, página 119 de la «Revista».