

# SUPERSTRUCTURA

DE LA VIA FÉRREA PARA TROCHA DE 1,68 M.

Por RAÚL CLARO SOLAR i RUPERTO ECHEVERRÍA S.

(Continuacion)

4. *Fatiga del lastre.*—En el número anterior hemos establecido la ecuacion

$$p = C y \tag{1}$$

aceptado para el coeficiente del lastre el valor

$$C = 3$$

Esa fórmula nos permitirá calcular la presión  $p$  sobre el lastre a plomo de un punto cualquiera del durmiente, siempre que se conozca el hundimiento que corresponda a ese punto bajo la acción de los esfuerzos solicitantes.

Para resolver la cuestión que nos ocupa necesitamos, pues, determinar el hundimiento del durmiente en un punto cualquiera, determinación que podrá efectuarse mediante las fórmulas propuestas por Ast en su estudio sobre los durmientes i su asiento, publicado en el *Boletín de la Comisión Internacional del Congreso de Ferrocarriles*, en Enero de 1895.

Esas fórmulas permiten calcular los valores del hundimiento del durmiente en su punto medio, en los puntos interiores a la vía en donde comienza el atraque, a plomo de los rieles i en los extremos del durmiente. Esos hundimientos, o sea la ordenada de la elástica del durmiente en los puntos considerados, aparecen indicados en la fig. 3 con las notaciones  $y_0, y_u, y_r, y_l$ .

Las fórmulas a que nos referimos son

$$y_0 = y_u + \frac{C b u^2 r^2 \beta^2}{6 E' I} (y_l - y_u) \tag{2}$$

$$y_u = \frac{P}{C b r} \frac{\frac{1}{\beta} + \beta^2 \left( \frac{4}{\beta} - 0,4 \right) e^{-\beta^2} - \beta^2 \left( \frac{0,8}{\beta} - 0,4775 \right) e^{-\beta^2}}{N} \tag{3}$$

$$y_r = \frac{P}{C b r} \frac{\frac{1}{\beta} + \beta^3 \left( \frac{4}{\beta} - 0,65 \right) \epsilon + \beta^7 \left( \frac{2,2}{\beta} - 1,41 \right) \epsilon^2}{N} \quad (4)$$

$$y_l = \frac{P}{C b r} \frac{\frac{1}{\beta} + \beta^3 \left( \frac{4}{\beta} - 2,4 \right) \epsilon - \beta^7 \left( \frac{0,8}{\beta} - 0,5025 \right) \epsilon^2}{N} \quad (5)$$

en las cuales

$$N = 2 + \beta^4 \left( \frac{8}{\beta} - 2,05 \right) \epsilon + \beta^8 \left( \frac{1,4}{\beta} - 0,92 \right) \epsilon^2$$

$$\beta = \frac{s}{r} = \frac{l-r}{r}$$

$$\epsilon = \frac{C b r^4}{6 E' I'}$$

El cálculo numérico de estas ecuaciones exige el conocimiento de algunas cantidades cuyos valores hemos fijado anteriormente i que son

$$C = 3 \text{ k/cm}^2$$

$$E' = 100.000 \text{ k/cm}^2$$

$$I' = 7.031 \text{ cm}^4$$

$$b = 25 \text{ cm.}$$

$$r = 87,5 \text{ cm.}$$

$$l = 137,5 \text{ cm.}$$

$$u = 37,5 \text{ cm.}$$

Reemplazando estos valores en aquellas ecuaciones, se llega a los resultados siguientes

$$y = 0,0001360 P$$

$$y_a = 0,0001371 P$$

$$y_r = 0,0001382 P$$

$$y_l = 0,0001196 P$$

Observaremos de paso que, al determinar teóricamente la longitud de los durmientes que convendrá para un cierto tipo de superestructura, se debe satisfacer a la condición de que el riel baje bajo la carga en la dirección vertical sin inclinarse a un lado o a otro, lo que perjudicaría a la conservación de la trocha: esta condición se llenaría si fuesen iguales los hundimientos en el medio i en el extremo del durmiente.

Los resultados a que hemos llegado muestran que los extremos de los durmientes se hundan menos que su punto medio, lo que indicaría que la longitud de 2,75 m. es excesiva. Pero esa diferencia no es muy sensible i no bastaría por sí sola para justificar una disminución de aquella longitud.

Dando sucesivamente a  $y$  los valores encontrados para  $y_u$ ,  $y_r$ ,  $y_l$ , en la ecuacion (1) i recordando que  $C=3$ , se obtendrá:

$$\begin{aligned} p_u &= 0,0004113 P \\ p_r &= 0,0004146 P \\ p_l &= 0,0003588 P \end{aligned}$$

Esos valores nos permiten construir la curva de las presiones sobre el lastre, en la hipótesis de que dicha curva se encuentre formada por elementos rectilíneos entre los puntos a que corresponden las presiones así determinadas, construcción que hemos hecho en la fig. 3.

Tendremos así como presión máxima sobre el lastre

$$p_{\text{máx.}} = 0,0004146 P$$

Para hacer el cálculo cifrado de esta fatiga distinguiremos el caso de una carga estática i de una carga dinámica:

para la carga estática

$$P = 4,050 k.$$

$$p_{\text{máx.}} = 1,68 k/cm.^2$$

para la carga dinámica

$$P = 6,075 k.$$

$$p_{\text{máx.}} = 2,52 k/cm.^2$$

5. *Presiones sobre la plataforma.*—Hemos observado ántes que el lastre trasmite a la plataforma presiones cuya intensidad por unidad superficial depende directamente de la altura de la cama de lastre, pues podemos admitir, como se hace jeneralmente, que el lastre trasmite a la plataforma las presiones segun rectángulos determinados por rectas inclinadas de  $45^\circ$  i que tienen por directrices los contornos de las partes atracadas del durmiente.

Será fácil, en consecuencia, espresar la superficie de plataforma que recibe la presión transmitida al lastre por cada una de las secciones atracadas del durmiente, en función de dicha seccion.

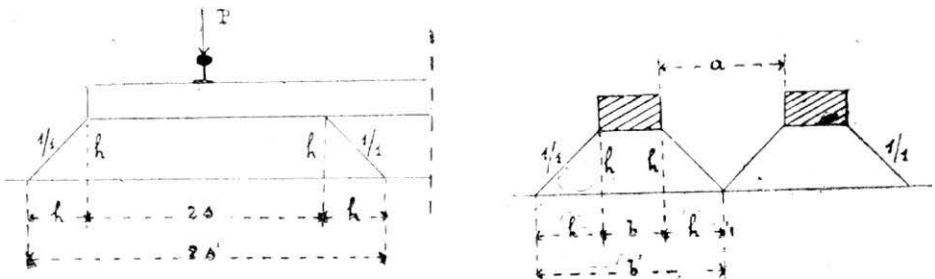


Fig. 4

En efecto, la superficie a que nos referimos valdrá (fig. 4)

$$2s' \times b' = 2(s+h)(b+2h)$$

Segun esto i representando por  $p'$  la presión por  $\text{cm}^2$  transmitida a la plataforma, tendremos

$$p' = \frac{P}{2(s+h)(b+2h)}$$

fórmula aproximada, por cuanto se establece admitiendo que las presiones se transmiten a la plataforma de una manera uniforme (1).

Esa fórmula nos manifiesta que mientras mayor sea la altura del lastre  $h$  menor será la presión  $p'$  sobre la plataforma i justifica teóricamente las consideraciones ya hechas acerca de las ventajas de aumentar la capa de lastre tanto mas cuanto menos consistente sea aquélla.

Pero, como lo manifiesta la fig. 4, esa ventaja tiene forzosamente su límite, determinado por el valor

$$h = \frac{1}{2} a$$

lo que hace ver que, bajo el punto de vista considerado, no habrá interés en hacer que la capa de lastre tenga una altura superior a la semi-distancia entre los durmientes. Solo por consideraciones prácticas hemos aceptado la conveniencia de aumentar en 10 cm. esa altura máxima en caso de una plataforma mui inconsistente (2).

Desde que la presión sobre la plataforma depende de la altura del lastre, habrá interés en calcular esa presión para cada una de las tres alturas de lastre bajo los durmientes que hemos aceptado.

Teniendo presente que

$$s = 50 \text{ cm.}$$

$$h = 25 \text{ cm.}$$

i dando a  $h$  sucesivamente los valores 25, 30 i 35 cm, obtenemos para  $p$  las cifras consignadas en el cuadro siguiente:

altura $h$ del lastre bajo el durmiente, en cm.....	25	30	35
presión $p$ sobre la plataforma, en $\text{k/cm}^2$ :			
para la carga estática, $P = 4.050 \text{ k} \dots\dots$	0,36	0,30	0,25
para la carga dinámica, $P = 6.075 \text{ k} \dots\dots$	0,54	0,45	0,38

(1) PUIG.—Nota relativa a las condiciones i capacidad de resistencia de las vías estrechas. (Revista tecnológica industrial) 1895.

(2) BAUCHAL.—De la question du ballast. (B. du C, des Ch. de F.) Junio, 1900.

## CAPÍTULO II

## DURMIENTES

§ I. *Acciones verticales*

1. *Jeneralidades.*—Al hacer el cálculo de los durmientes no basta considerar las fatigas que en ellos determinan las acciones verticales que los rieles les transmiten. En efecto, si bien dichas acciones son con mucho las más importantes cuando se tiene en vista solo la flexión que los durmientes experimentan, éstos sufren en su contacto con las sillas de apoyo una compresión perpendicular a las fibras de la madera, cuyo valor llega a un máximo cuando se toman en cuenta en conjunto las acciones verticales i transversales del material rodante.

Por este motivo hemos dividido el presente capítulo en dos párrafos, ocupándonos por el momento solo de la influencia de las acciones verticales.

2. *Solicitud del durmiente.*—En el capítulo anterior hemos calculado las presiones que el durmiente transmite al lastre bajo la acción de las cargas  $P$  que recibe de los rieles i, en consecuencia, hemos fijado el estado de solicitud de aquél (fig. 3).

Podemos, pues, considerar al durmiente como una pieza solicitada por flexión simple, que descansa sobre dos apoyos cuyas reacciones  $P$  son conocidas i que se encuentra sometida a la acción de una sobrecarga distribuida según leyes trapeziales a 50 cm. a uno i otro lado de los apoyos.

3. *Fatiga del durmiente.*—Calcularemos sucesivamente las fatigas por flexión i cizalle i las fatigas por compresión que sufre la materia del durmiente.

a.—*Fatigas por flexión i cizalle.*—La determinación de los momentos solicitantes es una cuestión que puede tratarse por la sola Estática; pero, para proceder con método, aplicaremos las fórmulas dadas por Ast en el estudio a que ántes nos referimos.

Llamando  $M_o$ ,  $M_u$ ,  $M_r$ ,  $M_l$  los momentos en el medio del durmiente, en los puntos interiores a donde comienza el atraque, a plomo de los rieles i en sus extremos, tendremos

$$M_o = \dot{M}_u = \frac{C b r^2 \beta^2}{3} (y_l - y_u) \quad (6)$$

$$M_r = \frac{C b r^2 \beta^2}{6} (2y_l + y_r) \quad (7)$$

$$M_l = 0 \quad (8)$$

fórmulas en las cuales figuran las ordenadas de la elástica del durmiente  $y_u$ ,  $y_r$ ,  $y_l$  que ya hemos calculado:

$$y_u = 0,0001371 P$$

$$y_r = 0,0001382 P$$

$$y_l = 0,0001196 P$$

Por otra parte sabemos también que

$$\begin{aligned} C &= 3 \\ b &= 25 \\ r &= 87,5 \\ \beta &= 0,571 \end{aligned}$$

luego, reemplazando las letras por sus valores en las ecuaciones (6), (7) i (8), tendremos

$$\begin{aligned} M_o = M_u &= - 1,0920 P \\ M_r &= 11,7746 P \\ M_l &= 0 \end{aligned}$$

Estos valores nos permiten concluir que el momento máximo se produce a plomo del riel i alcanza a la cifra de

$$M_{\text{máx.}} = 11,7746 P$$

Segun esto, la tension máxima  $\tau$  por flexion que se produce en el durmiente valdrá

$$\tau = \frac{M_{\text{máx.}}}{\frac{I'}{V'}} = \frac{11,7746 P}{937} = 0,01257 P$$

Reemplazando en esta última relacion P por los valores de la carga de riel estática o dinámica, obtendremos los valores numéricos de las tensiones  $\tau$  correspondientes:

para la carga estática]

$$\begin{aligned} P &= 4,050 \text{ k.} \\ \tau &= 50,91 \text{ k/cm}^2 \end{aligned}$$

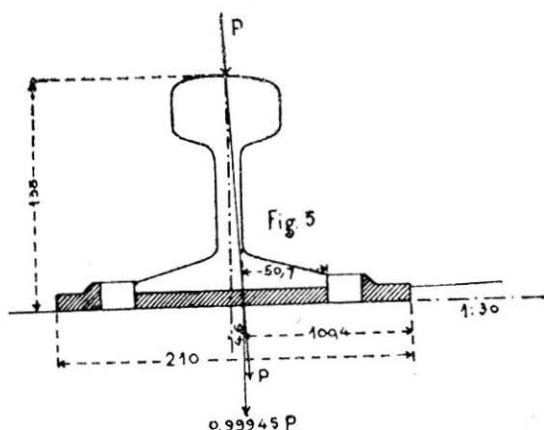
para la carga dinámica

$$\begin{aligned} P &= 6,075 \text{ k.} \\ \tau &= 76,40 \text{ k/cm}^2 \end{aligned}$$

Por lo que respecta al trabajo del durmiente por cizalle, es fácil ver que carece de importancia.

b. *Fatiga por compresion.*—La carga de riel  $P$  se trasmite al durmiente por inter-

medio de la silla de apoyo, la que comprime las fibras de la madera, ocasionando una fatiga que vamos a calcular (fig. 5).



Teniendo presente que los rieles se colocan en la vía con una inclinación de  $\frac{1}{30}$  i que podemos admitir que la carga  $P$  se aplique en el centro de la superficie de rodadura, observamos que la dirección de dicha fuerza penetrará en la base de la silla de apoyo a 100,4 mm. de su arista interior. Como dicha base tiene 210 mm. de ancho i 200 mm. de largo i como la presión normal a ella es igual a  $0,99945 P$ , la fatiga por compresión que se producirá sobre el durmiente contra aquella arista interior valdrá

$$p_{\text{máx.}} = \frac{0,99945 P}{210 \times 200} \left( 2 - \frac{3 \times 100,4}{210} \right)$$

$$p_{\text{máx.}} = 0,0000268 P$$

Si reemplazamos en esta fórmula  $P$  por su valor, obtendremos sucesivamente:

para la carga estática

$$P = 4.050 \text{ k.}$$

$$p_{\text{máx.}} = 10,90 \text{ k/cm}^2$$

para la carga dinámica

$$P = 6.075 \text{ k.}$$

$$p_{\text{máx.}} = 16,30 \text{ k/cm}^2$$

4.—*Observacion.*—Se comprende que la rigidez de la superestructura estará íntimamente relacionada con la magnitud de los hundimientos que el durmiente experimenta en el lastre: mientras mas rígida sea aquella, menores serán éstos i vice-versa.

Por este motivo interesa calcular el valor de la fuerza  $D$  capaz de producir un hundimiento del durmiente de 1 centímetro a plomo de los rieles; se tendrá así un elemento de comparación de la rigidez de varias superestructuras dadas.

Admitiendo, como lo hemos hecho, que los hundimientos del durmiente son proporcionales a las presiones i siendo  $y_r$  el hundimiento a plomo del riel que corresponde a una carga  $P$ , es evidente que

$$D = \frac{P}{y_r}$$

En el caso considerado (1)

$$y_r = 0,000\ 1382\ P$$

$$D = \frac{P}{0,000\ 1382\ P}$$

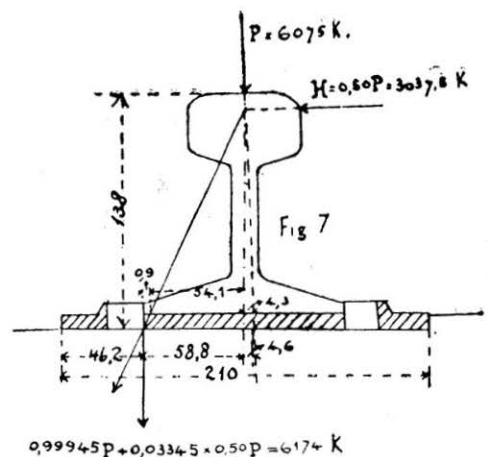
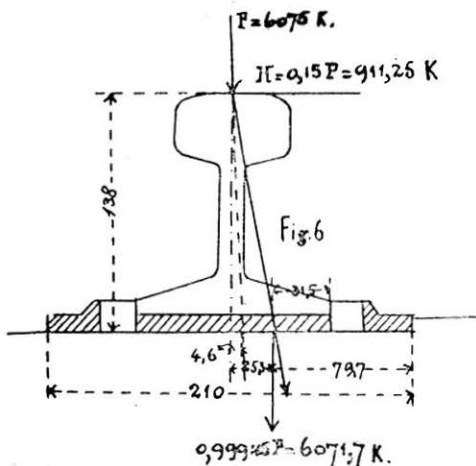
$$D = 7.236\ k.$$

## § II. Acciones verticales i transversales simultáneas

1. *Solicitación del durmiente.*—Acabamos de calcular las fatigas por compresion que se producen en la superficie de contacto de la silla de asiento con el durmiente bajo la accion de las cargas verticales. Debemos ahora considerar la combinacion de dichas cargas con los esfuerzos transversales que el material rodante en movimiento ejerce sobre la via.

En efecto, el desplazamiento de los ejes perpendicularmente a la via orijina en la superficie de contacto de rueda i riel un esfuerzo de frotamiento que tiene por medida el producto de la carga de rueda por el coeficiente de rozamiento correspondiente. Si como ya lo hemos hecho, fijamos en 0,15 el valor de este coeficiente i si admitimos, lo que parece lójico, que los esfuerzos transversales que los rieles soportan se trasmitan a los durmientes en una forma análoga a como lo hacen las cargas verticales(2), podemos aceptar que la accion transversal de que se trata es igual a 0,15  $P$ , siendo  $P$  la carga de riel.

El caso de sollicitacion que estudiamos, i cuyo esquema aparece indicado en la fig. 6,



(1) —Conviene tener presente desde luego los valores numéricos de  $y_r$ , que son:

para la carga estática  $y_r = 5,6\text{mm.}$   
 para la carga dinámica  $y_r = 8,4\text{mm.}$

(2).—LOUIS COUSIN.—La via férrea. (Boletín de la Sociedad de Ingeniería, de Chile). 1895.



es el que determina las fatigas máximas por compresion sobre la cara superior del durmiente contra la arista interior de la silla de asiento. Pero, por su parte, la porcion de aquella superficie en contacto con la arista exterior de la misma silla sufrirá en ciertas circunstancias fatigas de consideracion que debemos calcular.

Si consideramos el momento en que la pestaña de la rueda se apoya contra la cara lateral de la cabeza del riel i si suponemos que en ese instante se produzca un esfuerzo transversal dirijido hácia el exterior de la via, dicho esfuerzo tratará de desviar la resultante de las acciones que solicitan al riel aproximándola de la arista exterior de la silla de asiento.

En la primera parte de esta memoria nos hemos ocupado ya del efecto a que nos referimos i hemos llegado a fijar su valor máximo en 0,65 de la carga vertical *efectiva* que la rueda ejerce sobre el riel en el momento considerado. Segun' esto i teniendo presente que la intensidad de las cargas verticales varía constantemente i que, por otra parte, el máximo de tales acciones no coincide por lo jeneral con el máximo de los esfuerzos transversales, se llega a la conclusion de que la sollicitacion que nos ocupa presentará un número mui grande de casos.

Para proceder rigurosamente deberia considerarse la combinacion de esfuerzos verticales i transversales que diera en la práctica las fatigas máximas; pero no existe dato alguno que permita fijar el criterio sobre el particular. Por este motivo parece lójico colocarse en las circunstancias mas desfavorables, aun cuando ellas no se realicen ordinariamente en la práctica, admitiendo que, cuando la carga vertical llega a su máximo, pueda producirse una accion horizontal igual a 0,65 de aquélla.

Pero este último esfuerzo no se trasmite íntegramente al riel por intermedio de la pestaña: una parte de él, igual a 0,15 G, se gasta en vencer el rozamiento entre la rueda i el riel opuesto i solo el resto o sea 0,50 G obra sobre aquél. Admitiendo la hipótesis hecha ya acerca de la reparticion de las acciones transversales sobre los durmientes inmediatos a aquél a plomo del cual se producen, tendremos para el caso considerado una carga de riel P i una accion transversal igual a 0,50 P (1).

Si se considera ahora que, por la forma de la pestaña, podemos aceptar que la accion transversal de que se trata se ejerza a 10 mm. bajo la superficie de rodadura, llegamos por fin al estado de sollicitacion cuyo esquema aparece en la fig. 7.

(1) Flamache i Huberti en su Tratado de Esplotacion de Ferrocarriles observan que «el esfuerzo horizontal no excede jamas de los 0,4 del peso que descansa sobre la rueda mas cargada.»

Interpretando esta observacion en el sentido de que el esfuerzo H tenga como valor máximo los 0,4 de la carga máxima de rueda a plomo del durmiente, tendríamos

$$H=0,4 \quad G=0,4 \frac{P}{0,45}=0,89 P$$

cifra mui superior a la aceptada.

Si admitimos ahora que la estimacion de Flamache i Huberti fije el máximo del esfuerzo transversal en 0,4 de la carga máxima de riel:

$$H=0,4 P$$

valor inferior solo en  $\frac{1}{2}$  al que hemos adoptado.

Por lo demas, la cifra a que nos referimos es dada bajo reservas tales que desvirtuan casi completamente su importancia.

2. *Fatigas del durmiente.*—En el caso de sollicitacion de la fig. 6, la compresion máxima se produce contra la arista interior de la silla de asiento i tiene por valor

$$p_{\text{máx.}} = \frac{6,071,7}{210 \times 200} \quad 2 \left( 2 - \frac{3 \times 79,7}{210} \right)$$

$$p_{\text{máx.}} = 24,9 \text{ k/cm.}^2$$

En el caso de sollicitacion de la fig. 7, la compresion máxima se produce contra la arista exterior de la silla de asiento i tiene por valor (1).

$$p_{\text{máx.}} = \frac{2}{3} \frac{6174}{46,2 \times 200}$$

$$p_{\text{máx.}} = 44,5 \text{ k/cm.}^2$$

## CAPÍTULO III

### RIELES

#### § I. *Acciones verticales*

1. *Generalidades.*—El riel de la superestructura tipo que proponemos deberá permanecer en la via hasta que su cabeza haya experimentado un desgaste de 12 mm. En ese estado deberá presentar todavía una resistencia i una rijidez suficientes i, en consecuencia, el cálculo de las fatigas i de las deformaciones que ha de experimentar bajo la accion de las cargas verticales deberá tener en vista el riel desgastado al máximo.

En este estado, las características de la resistencia de ese elemento de la superestructura son

$$I_1 = 7.781.000 \text{ mm}^4$$

$$\frac{I_1}{V_1} = 130.000 \text{ mm}^3$$

$$E = 20.000 \text{ k/mm}^2$$

2. *Sollicitacion del riel.* - En la primera parte de esta memoria hemos fijado el valor máximo de la carga vertical que la rueda trasmite al riel entre los durmientes en:

para la accion estática

$$G = 9.000 \text{ k.}$$

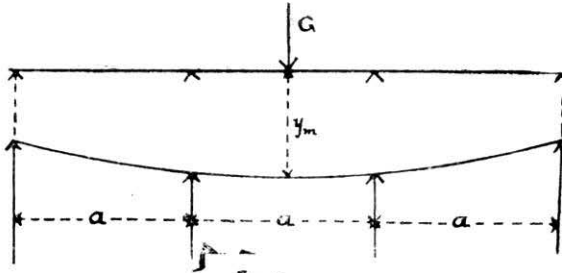
para la accion dinámica

$$G = 18.000 \text{ k.}$$

Ahora bien, el riel puede considerarse como una viga continua colocada sobre apoyos compresibles i sollicitada por una serie de cargas aisladas, dependiendo la intensidad de las fatigas que experimenta de la reparticion de dichas cargas con respecto a aquellos apoyos, esto es, a los durmientes.

(1) En caso de que exista entre el riel i el durmiente una silla de deteccion, la fatiga por compresion sobre su arista exterior se eleva a 94,8 k/cm<sup>2</sup>

Segun las teorías de Zimmermann (1), el caso mas desfavorable se produce cuando se considera al riel apoyado sobre 4 apoyos compresibles igualmente espaciados i solicitado por una carga única en el medio. Este estado de sollicitacion es el que representa la fig 8.



3. *Fatigas del riel.*—a) *Fatigas por flexion i cizalle.*—El momento de flexion máximo en el caso que consideramos es dado por la fórmula

$$M_{m\acute{a}x.} = \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \frac{G a}{4} \quad (9)$$

En la cual, tomando como unidades el k. i el cm, se tiene

$$\gamma = \frac{B}{D} = 3,25$$

$$B = \frac{6 E I_1}{a^3} = 23.520 \text{ k}$$

$$D = 7.236 \text{ k.}$$

$$a = 73,5 \text{ cm.}$$

Reemplazando las letras por sus valores:

$$M_{m\acute{a}x.} = 0,358 G a$$

$$M_{m\acute{a}x.} = 26,313 G$$

Luego la fatiga máxima por flexion que el riel experimenta tiene por valor

$$\tau_{m\acute{a}x.} = \frac{M_{m\acute{a}x.}}{\frac{I_1}{V_1}} = \frac{26,313 G}{130} = 0,2024 G$$

(1) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant: complément à l'exposé. (B. du C. des Ch de F.) 1892.

Obtenemos así:

para la carga estática

$$G = 9,000 \text{ k.}$$

$$\tau_{\text{máx.}} = 18,21 \text{ k/mm}^2$$

para la carga dinámica

$$G = 18,000 \text{ k.}$$

$$\tau_{\text{máx.}} = 36,42 \text{ k/mm}^2$$

En cuanto a las fatigas por cizalle, es fácil darse cuenta de que son despreciables.

b) *Fatigas por compresion.*—Refiriéndonos a la fig. 5 i observando que la direccion de la carga de riel P penetra en la base del riel a 50,7 mm. de la arista interior, i que esta base tiene 110 mm. de ancho, obtendremos como valor de la compresion máxima sobre dicha arista

$$p_{\text{máx.}} = \frac{0,99945 P}{110 \times 200} \quad 2 \left( 2 - \frac{3 \times 50,7}{110} \right) = 0,0000 563 P$$

Si reemplazamos en esta fórmula P por sus valores, obtendremos:

para la carga estática

$$P = 4,050 \text{ k.}$$

$$p_{\text{máx.}} = 0,23 \text{ k/mm}^2$$

para la carga dinámica

$$P = 6,075 \text{ k.}$$

$$p_{\text{máx.}} = 0,34 \text{ k/mm}^2$$

4. *Observacion.*—Bajo la accion de la carga G (fig. 8) el riel se flexiona i simultáneamente los durmientes se hunden en el lastre: resulta de aquí que el punto de aplicacion de la carga esperiméntará una depresion  $y_m$ , tanto menor cuanto mas ríjida sea la via.

El valor de  $y_m$  es dado por la fórmula

$$y_m = \frac{16\gamma^2 + 112\gamma + 11}{32\gamma(2\gamma + 5)} \frac{G}{D}$$

$$y_m = 0,0000 628 G$$

Segun esto tendremos:

para la carga estática

$$G = 9,000 \text{ k.}$$

$$y_m = 5,7 \text{ mm.}$$

para la carga dinámica:

$$G = 18.000 \text{ k.}$$

$$y_m = 11,3 \text{ mm.}$$

Partiendo del valor de  $y_m$ , puede calcularse también la carga  $A$  que produciría en el punto medio entre dos durmientes un descenso total del riel igual a 1 centímetro. Esa carga vale

$$A = \frac{G}{y_m} = 15.923 \text{ k.}$$

## § II. Acciones verticales i transversales simultáneas

1. *Jeneralidades.* — Los esfuerzos transversales tienden a flexionar el riel en el sentido horizontal, a hacerlo deslizar sobre sus apoyos i por fin a hacerlo jirar en torno de la arista exterior o interior de su zapata. Estos dos últimos efectos son con mucho los mas interesantes i nos referiremos esclusivamente a ellos en las consideraciones que siguen.

Desde luego, si se atiende a la forma como hemos fijado el máximo de las acciones transversales, podemos concluir que el deslizamiento lateral de los rieles será solo un caso escepcional, que no se producirá en las condiciones de sollicitacion en que nos hemos colocado, i esa observacion adquiere mayor fuerza si se considera que las amarras del riel se oponen también a ese deslizamiento.

Segun esto, debemos solo tener en vista las fatigas que el conjunto de las acciones verticales i transversales determina en la cara de contacto de la zapata del riel con la silla de asiento i el equilibrio de aquél bajo la influencia de las mismas acciones.

2. *Sollicitacion del riel.* — Los casos de sollicitacion mas desfavorables son los que indican las figs. 6 i 7.

3. *Fatigas del riel.* — La presion máxima sobre la arista interior de la zapata, cuyo ancho es igual a 110 mm. (fig. 6), tendrá por valor

$$p_{\text{máx.}} = \frac{6.071,7}{110 \times 200} \cdot 2 \left( 2 - \frac{3 \times 31,5}{110} \right)$$

$$p_{\text{máx.}} = 0,63 \text{ k / mm}^2$$

Del mismo modo la presion máxima sobre la arista exterior de la zapata (fig. 7) vale

$$p_{\text{máx.}} = \frac{2}{3} \times \frac{6.174}{0,9 \times 200}$$

$$p_{\text{máx.}} = 22,87 \text{ k / mm}^2$$

4. *Equilibrio del riel.*—En los dos casos de sollicitacion considerados, el riel se encuentra en equilibrio, como lo manifiestan las figuras a que nos hemos referido.

Segun esto, podemos concluir que, en las condiciones en que nos hemos colocado, el riel no ejercerá traccion sobre sus amarras pues no tendrá tendencia al volcamiento.

## CAPÍTULO IV

### ECLISAJE

1. *Sollicitacion de las eclisas.*—Solo tomaremos en cuenta las acciones verticales, cuyos valores hemos recordado en el capítulo anterior.

Si consideramos ahora un trozo de vía que comprenda la juntura i ademas los durmientes de contra-juntura i lo suponemos sometido a la accion de una carga  $G$ , el momento máximo se producirá en el punto de aplicacion de la carga cuando ésta obre en el medio del tramo de juntura (1).

Este será, pues, el estado de sollicitacion que debemos considerar para el cálculo de las eclisas.

2. *Fatiga de las eclisas.*—Segun Zimmermann, el momento sollicitante máximo es dado por la fórmula

$$M_{\text{máx.}} = \frac{[(1+2a_1)\gamma + (2+3a_1)a_1 - a_0^2] \frac{G a}{4} - \frac{\epsilon}{2} B a}{1 + \gamma + 3a_1 - a_0 \left(2 - \frac{I}{2i}\right)} \quad (10)$$

En esta fórmula figura el valor  $\epsilon$ , que espresa la magnitud media de los juegos que se producen entre los espaldones del riel i de las eclisas. Pero, como el valor de  $M$  es tanto mayor cuanto menor es  $\epsilon$  i como nos interesa colocarnos en las circunstancias mas desfavorables, debemos hacer

$$\epsilon = 0$$

Por lo demas, algunas de las letras que en dicha fórmula aparecen tienen una significacion que nos es conocida i las restantes representan:

$$a_0 = \frac{a_0}{a}$$

$a_0$  = semi longitud de la eclisa

$a$  = longitud de los tramos de contra-juntura

$$a_1 = \frac{a_1}{a}$$

$a_1$  = semi longitud del tramo de juntura

$2i$  = momento de inercia del par de eclisas.

(1) *AST.*—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.). Agosto 1892.

*AST.*—Les joints des rails. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

En el caso que estudiamos:

$$\begin{aligned} a_0 &= 360 \text{ mm.} \\ a &= 610 \text{ mm.} \\ \alpha_0 &= 0,590. \\ a_1 &= 245 \text{ mm.} \\ \alpha_1 &= 0,401. \\ I &= 10.625.000 \text{ mm.}^4 \\ 2i &= 3.690.000 \text{ mm.}^3 \\ \gamma &= 3,25 \end{aligned}$$

Reemplazando las letras por sus valores, obtendremos

$$M. \text{ máx.} = 173,46 \text{ G.}$$

Segun esto, las fatigas máximas  $\tau$  por flexion que las eclisas experimentan tendrán por valor

$$\tau \text{ máx.} = \frac{173,46 \text{ G}}{2 \times 34,325} = 0,00253 \text{ G}$$

siendo 34.325 mm<sup>2</sup>. el módulo de flexion de una eclisa.

Tendremos así:

para la carga estática

$$\begin{aligned} G &= 9.000 \text{ k.} \\ \tau \text{ máx.} &= 22,7 \text{ k. / mm.}^2 \end{aligned}$$

para la carga dinámica

$$\begin{aligned} G &= 18.000 \text{ k.} \\ \tau \text{ máx.} &= 45,4 \text{ k/mm}^2 \end{aligned}$$

3. *Observacion.* - Para completar el estudio del eclisaje deberíamos calcular las fatigas que se producen en los pernos de ensamble bajo la accion de los diversos esfuerzos solicitantes de la superestructura i por efecto de la apretadura de sus tuercas.

Pero el cálculo de las fatigas debidas a las acciones verticales i transversales (1) arroja valores mui reducidos; en cuanto al efecto de los esfuerzos lonjitudinales, que tiende a deformar los pernos en sentido perpendicular a su eje, no puede apreciarse numéricamente, pues la magnitud de tales esfuerzos no es conocida.

Nos quedaria solo por considerar la tension inicial que se desarrolla en los pernos cuando se aprietan sus tuercas; pero se comprende fácilmente que esa tension es esencialmente variable i que su importancia será tanto mayor cuanto mayores sean los juegos que se trata de hacer desaparecer con la apretadura. La esperiencia ha demostrado

(1) AST.—Les joints des rails. (B. du C. des Ch de F.) Septiembre, 1900.

que, con eclisas robustas i con llaves largas, esas tensiones pueden bastar a veces para determinar la destruccion de los pernos.

## CAPÍTULO V

### AMARRAS DEL RIEL SOBRE LOS DURMIENTES

1. *Solicitation de las sillas de asiento.*—Los casos de sollicitacion que debemos considerar para el cálculo de las sillas son aquellos a que se refieren las figs. 5, 6 i 7 del Capítulo II.

Es fácil, por lo demas, ver en ellas que la silla se encuentra sometida a la compression tanto en su cara superior que recibe la zapata del riel como en su base de asiento sobre el durmiente; pero esta última fatiga es insignificante comparada con aquélla.

Por fin, la porcion de la silla que sobresale de la zapata del riel i que comprime el durmiente recibe de éste una reaccion que tiende a flexionarla i a romperla contra la arista correspondiente de dicha zapata; de aquí una fatiga por flexion, que es todavía mas considerable que las de compression a que nos acabamos de referir.

2. *Fatigas de las sillas.* - a) *Fatigas por compression*—En el Capítulo III hemos calculado ya estas fatigas, al determinar las que el riel experimenta. Llegamos entónces a los resultados que indicamos a continuacion:

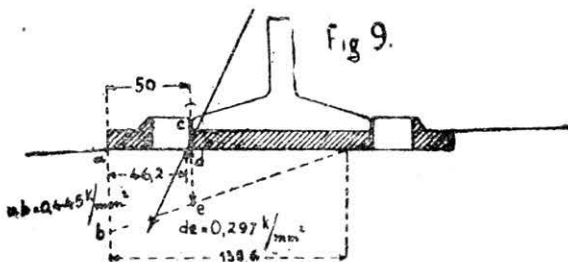
para las cargas verticales solas

accion estática	$p_{\text{máx.}} = 0,23 \text{ k. / mm.}^2$
accion dinámica	$p_{\text{máx.}} = 0,34 \text{ k. / mm.}^2$

para las acciones verticales i transversales simultáneas

$$p_{\text{máx.}} = 22,87 \text{ k. / mm.}^2$$

b) *Fatigas por flexion.*—Solo tiene interes el caso mas desfavorable, que es el que presenta la fig. 7 i para el cual la presion sobre el durmiente contra la arista exterior de la silla es igual a  $0,445 \text{ k. / mm.}^2$ , segun lo hemos hecho ver en el Capítulo II.



Como la resultante de las acciones exteriores cae entónces fuera del tercio central de la silla, a 46,2 mm. de aquélla arista, las presiones sobre el durmiente se repartirán segun una lei triangular, siendo el ancho de la zona comprimida igual a 138,6 mm.



(fig. 9). La reaccion del durmiente de  $a$  a  $d$  seguirá una lei trapezoidal i tendrá una resultante igual a

$$\frac{0,445 + 0,297}{2} \times 50 \times 200 = 3.710 \text{ k.}$$

siendo 200 mm. el ancho de la silla.

Admitiendo, para mayor sencillez, que el brazo de palanca de esa resultante con respecto al punto  $d$  sea igual a 25 mm., obtenemos para la seccion  $cd$  de la silla un momento solicitante de

$$3.710 \times 25 = 92.750 \text{ k. mm}$$

luego una fatiga por flexion igual a

$$\frac{92.750}{\frac{1}{8} (200 \times 10^3)} = 27,8 \text{ k. / mm.}^2$$

Debemos advertir que esta fatiga es debida a la combinacion de los valores máximos de las acciones verticales i transversales que el material rodante determina sobre la vía.

3. *Observacion.*—Al hácer el cálculo de los rieles, llegamos a la conclusion de que, en las condiciones de solicitacion consideradas, esto es siempre que las acciones transversales del material rodante no sean superiores a 0,65 de las cargas verticales correspondientes, el riel se encuentra en estado de equilibrio de rotacion i de traslacion.

Quiere esto decir que, en las circunstancias mencionadas, las escarpas no estarán sometidas a esfuerzos, ni de arrancamiento, ni de compresion lateral. Tales fatigas solo se producirán en ellas por efecto de circunstancias accidentales que, por su mismo carácter, escapan a todo cálculo (1).

## CAPÍTULO VI

### Resistencia i rijidez de la via

#### § I Tasas de trabajo admisibles

1. *Jeneralidades.*—En los capítulos anteriores hemos calculado las fatigas que se producen en los diversos elementos de la superestructura bajo la accion de los esfuerzos

(1) Flamache i Huberti, en su Tratado de explotacion de Ferrocarriles, avalúan en 400 a 500  $\text{k/cm}^2$ . la fatiga que las escarpas hacen experimentar al durmiente bajo la accion de los esfuerzos transversales, en las vias sin silla de asiento i en que el riel se fija por dos escarpas a cada durmiente.

Sobre este particular observan que la silla de asiento hace solidarias las escarpas de uno i otro lado de la zapata, las que intervienen simultáneamente para resistir a los esfuerzos transversales, i dicen: « esta propiedad es fundamental i da a la via vignole una solidez que la hace comparable a la via « de cojinete; la placa o silla de apoyo es, pues, un accesorio indispensable de una via de zapata fuertemente constituida.»

Podria tambien consultarse sobre la materia en referencia el artículo de Ast intitulado «Relation entre la voie et le matériel roulant» que tantas veces hemos citado.

estáticos i dinámicos que la solicitan. Debemos ahora investigar si esas fatigas se encuentran o nó bajo los límites admisibles para el trabajo de los materiales, i, en consecuencia, habrá que fijar ante todo esos límites.

Sobre este particular se debe desde luego tener presente que, miétras mas riguroso sea el método de cálculo empleado para determinar el trabajo que sufren los diversos elementos de una construccion, mayor podrá ser tambien la tasa admisible; en otros términos, miétras mas exactamente se conozcan las fatigas producidas, mas podrán aproximarse ellas del límite de elasticidad de la materia que se considera. Segun esto, como nuestros cálculos han sido establecidos sobre las fórmulas de Zimmermann i de Ast, que dan resultados mucho mas exactos que los métodos ordinarios, será lógico adoptar tasas de trabajo notablemente superiores a las que por lo jeneral se acostumbran.

Todavía mas, al aceptar para el lastre un coeficiente  $C=3$ , nos hemos colocado en circunstancias desfavorables bajo el punto de vista que consideramos, lo que nos autoriza tambien a fijar cifras elevadas para las tasas de trabajos admisibles.

Por fin, contribuye a reforzar ese mismo criterio la circunstancia de que las fatigas máximas calculadas, i que se producen cuando se toman en cuenta las acciones dinámicas del material rodante, tienen una duracion por decirlo así instantánea.

A estas observaciones debe agregarse que las condiciones impuestas a la fabricacion de los diversos elementos metálicos de la superestructura (1) permiten contar con que se empleará en ellos un metal homogéneo i que ofrecerá plenas garantías en cuanto a sus condiciones de resistencia i de elasticidad.

Podemos, pues, aceptar en definitiva, cuando se toman en cuenta las acciones dinámicas, una tasa de trabajo igual a la carga límite de elasticidad. Para las acciones estáticas, que equivalen a la mitad de las dinámicas para el riel i las eclisas i a los dos tercios de las mismas para los demas elementos de la superestructura, parece lógico aceptar respectivamente como fatigas admisibles la mitad i los dos tercios de la carga límite de elasticidad correspondiente.

Demas está decir que en lo que sigue solo nos ocuparemos de fijar las tasas de trabajo que es necesario conocer para compararlas con las fatigas calculadas.

2. *Lastre*.—La elasticidad del lastre es mui incompleta i no existe sino dentro de límites mui estrechos; todavía mas, ella decrece gradualmente bajo la accion de fuertes presiones.

De las esperiencias realizadas sobre el particular puede concluirse que una presion de  $3 \text{ k/cm}^2$  es un máximo que no se debe sobrepasar, si se quiere conservar a la via un asiento elástico (2).

Segun esto, podemos aceptar:

para las acciones estáticas

tasa práctica de trabajo por compresion.....  $\frac{2}{3} \times 3 = 2,00 \text{ k/cm}^2$ .

(1) Cuaderno de condiciones jenerales para la provision de rieles de acero i accesorios de la via, 1901.

(2) BAUCHAL.—De la question du ballast. (B. du C, des Ch. de F.) Junio, 1900.

para las acciones dinámicas

tasa práctica de trabajo por compresion..... 3,00 k/cm<sup>2</sup>.

3. *Durmientes*—No existen esperiencias que permitan fijar los valores de la carga límite de elasticidad del roble, sea a la flexion, sea a la compresion en un sentido perpendicular a las fibras de la madera. Por este motivo debemos proceder por comparacion.

Segun Michel (1), el límite de elasticidad para la encina i el haya corresponde en término medio a una carga de 240 k/cm<sup>2</sup> para esfuerzos de compresion perpendiculares a las fibras de la madera. Por otra parte, de ordinario se adopta la cifra de 120 k/cm<sup>2</sup> para esas mismas maderas cuando se trata de fijar su límite de elasticidad por flexion.

En vista de estas cifras i teniendo presentes las cualidades del roble pelling comparadas con las de las maderas nombradas i las circunstancias especiales en que el durmiente se encuentra colocado en la via, creemos prudente fijar respectivamente en 150 k/cm<sup>2</sup>. (2) i 100 k/cm<sup>2</sup>. los valores límites de sus cargas de elasticidad por compresion i flexion. Esto nos conduce a los resultados siguientes

para las cargas estáticas

tasa práctica de trabajo por compresion.....  $\frac{2}{3} \times 150 = 100$  k cm<sup>2</sup>.  
 » » » » por flexion.....  $\frac{2}{3} \times 100 = 66$  k/cm<sup>2</sup>.

para las cargas dinámicas

tasa práctica de trabajo por compresion..... 150 k cm<sup>2</sup>.  
 » » » » por flexion..... 100 k/cm<sup>2</sup>.

4. *Rieles*.—En el Capítulo III de la primera parte de esta memoria hemos recordado que el acero de los rieles debe resistir en el límite de elasticidad por traccion una carga de 35 k/mm<sup>2</sup>.

Esta cifra podría servirnos de punto de partida para estimar la carga límite de elasticidad a la flexion, pues es sabido que esta última es siempre superior a aquella (3), siendo tanto mayor la diferencia entre ambas cuanto mas dulce sea el acero. Pero, tratándose aquí de un metal duro, estimamos prudente no hacer mérito de la circunstancia apuntada i aceptar un mismo valor para ambas solicitaciones.

(1) MICHEL.—Expériences sur la résistance des éléments qui composent les voies. (R. G. des Ch. de F.) 1884.

AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

AST.—Les traverses des chemins de fer et leur assise. (B. du C. des Ch. de F.) Enero, 1895.

AST.—Renforcement des voies en vue de l'augmentation de la vitesse des trains. (B. du C. des Ch. de F.) Mayo, 1895.

(2) Flamache i Huberti, en su Tratado de explotacion de Ferrocarriles, aceptan esta última cifra.

(3) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

CONSIDÈRE.—De l'emploi du fer et de l'acier dans les constructions (Annales des ponts et chaussées.) 1885.

Igualmente adoptaremos tambien la cifra de  $35 \text{ k/mm}^2$ , como limite de elasticidad a la compresion. Tendremos entónces:

para las acciones estáticas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$\frac{1}{2} \times 35 = 17,5 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$\frac{1}{2} \times 35 = 17,5 \text{ k/mm}^2$

para las acciones dinámicas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$35 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$35 \text{ k/mm}^2$

5. *Eclisas*.—La carga límite de elasticidad por estension es para el acero de las eclisas igual a  $25 \text{ k/mm}^2$ .

Refiriéndonos a las observaciones anteriores i despues de un estudio detenido acerca de la relacion que puede adoptarse entre las cargas de elasticidad por flexion i por traccion, segun la dureza del acero que se considera, hemos llegado a fijar esa razon en 1,4 para el metal a que ahora no referimos. Esto es decir que estimamos su carga límite de elasticidad por flexion en

$$1,4 \times 25 = 35 \text{ k/mm}^2.$$

para la compresion adoptaremos el mismo valor que para la traccion. Luego podemos aceptar:

para las acciones estáticas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$\frac{1}{2} \times 25 = 12,5 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$\frac{1}{2} \times 35 = 17,5 \text{ k/mm}^2$

para las acciones dinámicas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$25 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$35 \text{ k/mm}^2$

6. *Sillas*.—El acero de las sillas es igual al de las eclisas. Luego tendremos:

para las acciones estáticas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$\frac{2}{3} \times 25 = 16,6 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$\frac{2}{3} \times 35 = 23,3 \text{ k/mm}^2$

para las acciones dinámicas

tasa práctica de trabajo por compresion.....	$25 \text{ k/mm}^2$
» » » » por flexion.....	$35 \text{ k/mm}^2$

§ II.— *Comparacion entre las fatigas calculadas i las tasas de trabajo admisibles*

1. *Jeneralidades.*—Hemos dicho ya que las fatigas efectivas máximas que se desarrollan en los diversos elementos de la superestructura no deben ser superiores a los límites de trabajo respectivamente admisibles, si se quiere que su estabilidad elástica quede asegurada.

Llevaremos a cabo esa comparacion, tanto para las cargas estáticas como para las acciones dinámicas.

2. *Cuadro comparativo.*—Para presentar de una manera tanjible los resultados de la comparacion que nos ocupa, hemos formado el cuadro siguiente

DESIGNACION DE LOS ELEMENTOS	ACCIONES ESTÁTICAS				ACCIONES DINÁMICAS			
	Compresion, en k/cm. <sup>2</sup>		Flexion, en k/cm. <sup>2</sup>		Compresion, en k/cm. <sup>2</sup>		Flexion, en k/cm. <sup>2</sup>	
	Fatigas calculadas	Trabajo ad- misible	Fatigas calculadas	Trabajo admisible	Fatigas calculadas	Trabajo admisible	Fatigas calculadas	Trabajo admisible
Lastre.....	1,68	2,00	—	—	2,52	3,00	—	—
Durmiente.....	10,90	100,00	50,90	66,00	94,80	150,00	76,40	100,00
Riel.....	23,00	1.750,00	1.820,00	1.750,00	2.287,00	3.500,00	3.612,00	3.500,00
Eclisa.....	—	—	2.270,00	1.750,00	—	—	4.540,00	3.500,00
Silla.....	23,00	1.666,00	—	—	2.287,00	2.500,00	2.780,00	3.500,00

3. *Observaciones.*—El estudio del cuadro anterior manifiesta que en jeneral los diversos elementos de la superestructura se encuentran en condiciones aceptables bajo el punto de vista de su estabilidad elástica. En cambio, las eclisas experimentan fatigas, no solo superiores a los límites prácticos admisibles, sino aun notablemente mayores que el límite sobreelevado de elasticidad por flexion, cuando se toman en cuenta las acciones dinámicas.

Este último resultado no debe por lo demas parecer extraño (1), pues es sabido que la eclisa ordinaria en forma de cantonera es un elemento débil en la superestructura de las líneas férreas. Para reducir su fatiga de una manera apreciable no habria que pensar en aumentar su módulo de flexion, lo que conduciría a una seccion transversal enorme, sino en adoptar mas bien un sistema de juntura de rieles distinto del eclisaje ordinario; pero, no habiéndose pronunciado hasta ahora la esperiencia en favor de ninguno de estos tipos

(1) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

AST.—Les traverses des chemins de fer et leur assise. (B. du C. des Ch. de F.) Enero, 1895.

de ensamble especiales (1), hemos creído racional atenernos al eclisaje ordinario, señalando al mismo tiempo su falta de resistencia.

Antes de terminar estas observaciones, conviene recordar que la compresion máxima sobre la plataforma, que calculamos en el capítulo primero de esta segunda parte, es igual a  $0,54 \text{ k/cm}^2$ , i que hai pocos terrenos que no puedan soportar esa presion en buenas condiciones (2). Todavía mas, cuando se encuentran tales terrenos, lo mejor es evitar los i, si esto no es posible, consolidarlos o reemplazarlos en una profundidad suficiente.

### § III.—Rijidez de la via

1. *Jeneralidades.*—La rijidez de la via es medida por la importancia de los descensos que en ella se producen por efecto de las acciones exteriores. Por lo demas, puede decirse que una via es rijida cuando, bajo la accion de una carga supuesta invariable, experimenta en todos sus puntos un mismo descenso i cuando las variaciones de su descenso quedan comprendidas dentro de límites aceptables, para los cambios que se producen en la intensidad de las cargas solicitantes (3).

El límite de las variaciones de descenso no perjudiciales es mui difícil de precisar, siendo una cuestion de carácter experimental; segun AST, se puede admitir que variaciones en el descenso de 2 mm. forman el límite a partir del cual la reaccion ejercida por la via comienza a hacerse sentir de una manera perjudicial.

2. *Descenso de la via en sus diferentes puntos bajo la accion de una carga supuesta invariable.*—Nos referimos especialmente a los descensos  $y_r$  e  $y_m$  que la superestructura experimenta cuando la carga solicitante se encuentra aplicada a plomo de los durmientes o en el punto medio de un tramo de riel intermedio. Hemos dispuesto, por otra parte, la juntura en forma que asegure un descenso uniforme del riel entre los durmientes.

Las depresiones  $y_r$  e  $y_m$  han sido calculadas ya al tratar de los durmientes i de los rieles, i tienen por valor

$$\begin{aligned} y_r &= 0,0001382 P \\ y_m &= 0,0000628 G \end{aligned}$$

Si suponemos invariable la carga  $G$  e introducimos la relacion

$$P = 0,45 G$$

obtenemos

$$\begin{aligned} y_r &= 0,0000622 G \\ y_m &= 0,0000628 G \end{aligned}$$

valores sensiblemente iguales.

(1) AST.—Les joints des rails. (B. du C. des Ch. de F.) Septiembre, 1900.

(2) BAUCHAL.—De la question du ballast. (B. du C. des Ch. de F.) Junio, 1900.

(3) AST.—Relation entre la voie et le matériel roulant. (B. du C. des Ch. de F.) Agosto, 1892.

3. *Variaciones del descenso de la vía.*—Las modificaciones en las depresiones de la superestructura son una consecuencia de los efectos dinámicos i provienen de la sobrecarga o de la descarga de los ejes de los vehículos.

Si se parte, para colocarse en circunstancias razonables, de las cargas de rueda estáticas i se determina la influencia que sobre el hundimiento tiene la recarga máxima aceptable, se llega a los resultados que ya hemos obtenido:

para las cargas estáticas

$$y_r = 5,6 \text{ mm.}$$

$$y_m = 5,7 \text{ mm.}$$

para las cargas dinámicas máximas

$$y_r = 8,4 \text{ mm.}$$

$$y_m = 11,3 \text{ mm.}$$

Lo que da para el máximo de las variaciones de hundimiento que la vía experimenta:

$$\text{a plomo de los durmientes. . . . . } 8,4 - 5,6 = 2,8 \text{ mm.}$$

$$\text{entre dos durmientes. . . . . } 11,3 - 5,7 = 5,6 \text{ mm.}$$

4. *Observaciones.*—Los resultados consignados en los números anteriores permiten concluir que la vía tipo que proponemos, si bien es en jeneral capaz de resistir a las acciones solicitantes, deja que desear bajo el punto de vista de su rigidez. En efecto, dicha superestructura presenta una rigidez uniforme; pero las variaciones en las depresiones que sufre, cuando se pasa de la carga estática a la dinámica, superan con mucho al límite de 2 mm., mas allá del cual se producen reacciones perjudiciales a la vía i al material rodante.

Este resultado no debe por lo demas parecer extraño, si se tiene en cuenta que el peso de 38,5 k m<sup>1</sup> corresponde a un riel sensiblemente ménos rígido que los que se adoptan en las vías de gran circulacion mejor construidas. De todos modos, la consideracion apuntada no bastaria, a nuestro juicio, para justificar una elevacion en el peso del riel.

## CAPÍTULO VII

### Observaciones complementarias

1. *Jeneralidades.*—Hemos comparado ya el nuevo tipo de superestructura con el existente, bajo el punto de vista económico. Interesa ahora estudiar comparativamente la resistencia i la rigidez de ambas vías.

2. *Resistencia i rigidez de la superestructura tipo existente.*—Para llevar a cabo este estudio debemos determinar previamente los valores máximos de las fatigas i deformaciones que se producen en la superestructura en uso actual bajo la accion de las cargas solicitantes que nos han servido para el cálculo del nuevo tipo de vía.

Aplicando los mismos procedimientos i fórmulas de que hicimos uso en los capítulos anteriores, hemos encontrado para las fatigas los valores numéricos que se consignan en el cuadro siguiente.

DESIGNACION DE LOS ELEMENTOS	ACCIONES ESTÁTICAS		ACCIONES DINAMICAS	
	Fatigas, en $k/cm.^2$		Fatigas, en $k/cm.^2$	
	Compresion	Flexion	Compresion	Flexion
Lastre .....	1,68	—	2,52	—
Durmiente.....	25,92	50,91	269,00	76,40
Riel.....	25,92	1.873,00	(1) 269,00	3.746,00
Eclisa.....	—	3.591,00	—	7.182,00

En cuanto a las características de la rijidez de la vía, tienen los valores que se expresan a continuacion.

DESIGNACION DE LOS ELEMENTOS	Valores	
Hundimiento de la vía, bajo la accion de una carga $G$ supuesta invariable.....	$\left\{ \begin{array}{l} \text{a plomo de durmientes, } y_r \\ \text{entre los durmientes, } y_m \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,0000622 \text{ G cm.} \\ 0,0000631 \text{ G cm.} \end{array} \right.$
Variaciones máximas del hundimiento de la vía, cuando se pasa de la accion estática a la accion dinámica.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{a plomo del durmiente, } \Delta y_r \\ \text{entre los durmientes, } \Delta y_m \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,57 \text{ cm.} \\ 0,28 \text{ cm.} \end{array} \right.$
Carga capaz de producir un hundimiento de la vía igual a 1 centímetro.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{a plomo del durmiente, } D \\ \text{entre los durmientes, } A \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 7.236 \text{ k.} \\ 15.845 \text{ k.} \end{array} \right.$
Característica de la vía.....	$\gamma$	3,18

(1) Esta cifra ha sido obtenida admitiendo que las acciones verticales i transversales máximas se produzcan simultáneamente. Al mismo tiempo hemos aceptado, como se hace siempre, que el riel se apoye sobre el durmiente en una estension igual a 0,60 del ancho de éste, o sea de 0, 15 m.

Si nos hubiéramos colocado en la hipótesis de Flamache i Huberti ya recordada i segun la cual, cuando la accion vertical  $P$  llega a su máximo, el esfuerzo horizontal  $H$  alcanza solo a 0,4  $P$ , habríamos obtenido como valor de la fatiga máxima por compresion del durmiente

$$p_{\text{máx.}} = 129 \text{ k/cm}^2$$



El estudio de los cuadros anteriores manifiesta que las eclisas se encuentran en condiciones estremadamente desfavorables a consecuencia de las fatigas que experimentan: esas fatigas llegan a sobrepasar con mucho su resistencia absoluta a la ruptura, cuando se considera la acción de la carga rodante recargada al máximo.

Del mismo modo el trabajo por compresión de los durmientes es tan superior o cuando ménos se aproxima de tal manera al límite de resistencia de la madera que, si se presenta un conjunto de circunstancias que influyan desventajosamente sobre sus fibras, la destrucción de éstas llegará a ser inevitable al cabo de poco tiempo.

En lo que se refiere a la rigidez de la vía, ella es sensiblemente uniforme bajo la acción de una carga supuesta constante, pero esta rigidez es insuficiente, como lo observamos también para la nueva superestructura.

3. *Comparación entre la superestructura tipo existente i la propuesta.* — Bajo el punto de vista de la capacidad de resistencia, la nueva superestructura presenta dos ventajas considerables sobre la antigua: en ella, la compresión máxima de los durmientes se reduce a una tasa perfectamente aceptable, por efecto de las sillaneras, i la fatiga máxima de las eclisas queda siempre por debajo de su resistencia absoluta a la ruptura.

Consideradas bajo el punto de vista de su rigidez, pueden estimarse como equivalentes *en estado nuevo*, si bien este elemento es en ambas deficiente. Cabe observar aquí, por lo demás, que la mayor perfección del eclisaje i de la fijación de los rieles a los durmientes dará seguramente una ventaja no despreciable a la nueva superestructura al cabo de un cierto tiempo de servicio.

NOTA.—Entre las diversas erratas de que adolece la publicación del presente Estudio interesa especialmente rectificar la siguiente, que se refiere a la página 115 de la entrega de los ANALES correspondiente al 15 de Marzo de 1904. En dicha página se dice:

«En efecto, no pasa con los elementos de la superestructura como con algunas obras de arte, los puentes por ejemplo, en los cuales puede muy bien suceder que un vehículo de ejes numerosos i pocos espaciados produzca fatigas superiores a las que determinaría otro vehículo de menor número de ejes colocados a mayor distancia entre sí, aun cuando las cargas de eje fueran mayores en este último.»

En su lugar debería decir:

En efecto, no pasa con los elementos de la superestructura *de una vía férrea de trocha ancha, establecida i explotada en condiciones racionales*, como con algunas obras de arte, etc.

RAÚL CLARO SOLAR

RUPERTO ECHEVERRÍA S.

Santiago, Febrero de 1904.

