

SUPERSTRUCTURA

DE LA

VÍA FÉRREA PARA TROCHA DE 1,000 M.

Por RAUL CLARO SOLAR i RUPERTO ECHEVERRIA S.

(Continuacion)

De acuerdo con las observaciones anteriores, puede proyectarse un cierto número de perfiles tipos aplicables a las diversas circunstancias que se encuentran en la práctica del establecimiento de la cama de lastre. Esos perfiles deben variar en cuanto al espesor del lastre bajo los durmientes, segun la naturaleza de la plataforma, i en cuanto a la altura de la capa de lastre con relacion a la cara superior de los durmientes, segun el clima de la rejion en que la línea férrea deba construirse.

Bajo el punto de vista de la naturaleza de la plataforma convendrá distinguir tres casos: plataforma consistente, plataforma de consistencia media, plataforma poco consistente. Habrá que estudiar tambien un perfil tipo para el caso en que, tratándose de un sub-suelo resistente, haya interes en reducir a un mínimo el ancho de la plataforma, como pasa en los cortes rocosos profundos, en los túneles, etc.

Teniendo en cuenta la conveniencia de cubrir o no los durmientes con una capa de lastre, el estudio de lo que pasa en las líneas en explotacion construidas en nuestro pais parece manifestar que deben distinguirse dos secciones distintas: la del norte i la del centro i sur, la última de las cuales comprenderia hasta la provincia de Coquimbo inclusive. En la primera zona, de Coquimbo al norte, los perfiles tipos de lastradura consultarán durmientes cubiertos; en la segunda, de Coquimbo al sur, los durmientes quedarán descubiertos.

Naturalmente, los perfiles de lastre correspondientes a la primera rejion deberán aplicarse tambien a las líneas que se construyan en la segunda en circunstancias excepcionales que exijan durmientes cubiertos, como sucederia en aquellas secciones del pais espuestas a cambios de temperatura mui bruscos, etc.: los ferrocarriles trasandinos serian un ejemplo de esta aplicacion especial (1).

(1) HAUSSER.—Traverses en bois (*B. du C. des Ch. de F.*) Julio 1904.

En conformidad a las ideas espuestas, hemos proyectado los perfiles tipos de lastradura para simple vía que se acompañan, sin preocuparnos de las líneas de doble vía por no creerlo necesario al tratar de ferrocarriles de 1,000 m. de trocha. Esos perfiles comprenden dos grupos, segun que se hayan cubierto o nó los durmientes; cada grupo contempla el caso de una plataforma consistente, de una plataforma de consistencia media i de una plataforma inconsistente, i ademas un perfil estrecho sobre plataforma consistente para casos especiales.

2. *Distribucion de los durmientes.* - Teniendo en vista la necesidad de reforzar la juntura, conservando al mismo tiempo entre los durmientes que la soportan una distancia tal que su atraque sea fácil, hemos fijado en 0,460 m. la distancia entre ejes de dichos durmientes: queda así entre ellos un intervalo libre de 0,260 m.

En vista de aquella cifra i de la conveniencia de uniformar en lo posible la rijidez i la resistencia de la vía en todos sus puntos, adoptamos para los durmientes intermedios un intervalo entre ejes de 0,700 m: de este modo, el intervalo de juntura viene a ser igual a los 0,66 de los espacios intermedios.

Por fin, la necesidad de reforzar los tramos de contrajuntura, que se encuentran en condiciones mas desfavorables que los centrales, nos ha hecho reducir la luz de esos tramos a 0,570 m.: la razon entre el tramo de juntura i el de contrajuntura queda así igual a 0,80 próximamente.

Las cifras indicadas mas arriba conducen a la siguiente distribucion de los durmientes a lo largo de cada riel:

1 tramo de juntura 0,460 m.	0,460 m.
2 tramos de contrajuntura, $2 \times 0,570$ m.	1,140 »
12 tramos intermedios, $12 \times 0,700$ m.	8,400 »
	10,000 m.

Se llega así a tener 15 durmientes por riel de 10 metros de largo, o sea 1.500 durmientes por kilómetro, esto es el mismo número de durmientes que se llegó a emplear en los ferrocarriles chilenos de trocha de 1,000 m. con la superestructura correspondiente al riel de 20,446 km.¹.

La inspeccion del cuadro núm. 1, haria pensar a primera vista que ese número de durmientes es exagerado, sobre todo si se tiene en cuenta que hemos consultado el empleo de sillas de asiento. Pero hai que tener presente que el aumento del número de durmientes no solo tiene en vista la disminucion de las cargas de riel i luego la reduccion de las presiones sobre la cara superior de aquéllos, sino mui especialmente el obtener que el durmiente no trasmita al lastre presiones superiores a la carga límite de elasticidad: segun se manifiesta en el cuadro núm. 7, que contiene los resultados del cálculo de la superestructura tipo, toda reduccion del número de durmientes a una cifra inferior a 1.500 traeria como consecuencia presiones inaceptables sobre el lastre.

3. *Eclisaje de los rieles.*—Al eclisar los rieles debe dejarse entre sus extremos un espacio libre, variable con la temperatura a que se verifica la enrieldadura. Fijando como

temperaturas estremas -10° C i $+50^{\circ}$ C i como temperatura media $+15^{\circ}$ C, adoptando 0,0000108 como coeficiente de dilatacion del acero i recordando que el riel tiene 10,000 metros de largo, obtenemos los siguientes resultados:

dilatacion máxima, a partir de $+15^{\circ}$ C.....	0,0038 m
contraccion máxima, a partir de $+15^{\circ}$ C	0,0027 »
dilatacion total, a partir de -10° C.....	0,0065 »

Segun esto, si suponemos que se enriellara al mínimo de temperatura aceptado, debería quedar entre los rieles un intervalo mínimo de 0,0065 m. para que se tocanan al producirse la temperatura máxima de $+50^{\circ}$ C; al enriellar a una temperatura de $+20^{\circ}$ C, la junta debe permitir en uno i otro sentido una dilatacion igual como mínimo a 0,0032 m. Por lo demas, en la práctica, el aumento o disminucion del intervalo de junta será solo una fraccion de aquella cifra, pues los movimientos de los rieles, debidos a las variaciones de temperatura, se dificultan por las ligazones que presentan.

De acuerdo con estas observaciones, hemos proyectado el eclisaje en forma tal que, cuando los ejes de los agujeros de los rieles i de las eclisas i los de los pernos de amarra están en coincidencia, el intervalo entre los estremos de aquellos es igual en término medio a 0,0035 m.; la misma disposicion asegura una junta de 0,01075 en el máximo de apartamiento de los rieles. Naturalmente, al hacer los cálculos anteriores se han tenido en vista las tolerancias que fija para las dimensiones de los órganos ensamblados el «Cuaderno de condiciones jenerales para la provision de rieles de acero i accesorios de la vía» (1) i que son:

tolerancia admitida en la posicion i diámetro de los agujeros de los rieles...	0,0005 m.
» » en el diámetro de los agujeros de las eclisas.....	0,00025 »
» » del cuerpo del perno	0,0005 »

En la práctica de la enrielladura, se dará el intervalo de junta introduciendo entre los estremos de los rieles una plantilla de madera o metálica cuyo espesor deberá variar segun la temperatura, en conformidad al cuadro siguiente:

Temperatura a que se verifica la enrielladura, en 0° C	Espacio libre mínimo entre los estremos de los rieles, en mm.
Bajo 0.	6,5
Entre 0 i 10.....	5,5
Entre 10 i 20.....	4,5
Entre 20 i 30.....	3,5
Entre 30 i 40.....	2,5
Sobre 40.....	1,0

(1) Cuaderno de condiciones jenerales para la provision de rieles de acero i accesorios de la vía. (Direccion de Obras Públicas. Chile), 1901.

Por lo que respecta a los detalles del eclisaje debemos observar que las eclisas descansarán directamente sobre los durmientes de junta mediante entallas que aseguren la inclinación que el riel debe tener en la vía. El contacto de los espaldones de las eclisas i de los rieles se asegurará apretando los pernos de ensamble i en virtud de la forma en una de las eclisas i del intervalo de 0,004 m. que queda entre ellas i los rieles.

La forma rectangular del filete del perno i la tuerca tipo Halpin, que obra en forma de resorte, asegurarán la junta contra el desapretamiento, especialmente si se tiene cuidado de vijilar el eclisaje en los primeros meses que siguen a su colocación. Por lo demás, las tuercas de los pernos irán al interior de la vía para facilitar su inspección.

Las juntas se corresponderán en ambas filas de rieles, como se ve en los planos adjuntos, en los cuales pueden consultarse los demás detalles relativos al eclisaje.

4. *Amarcas del riel sobre los durmientes.*—a) *Secciones de vía en horizontal i en pendientes inferiores a 0,01.*—El riel irá apoyado sobre 15 durmientes, espaciados en la forma ya indicada i que se colocarán normales a la vía.

Todos los durmientes intermedios llevarán dos sillas de asiento para recibir los rieles; cada silla se fijará al durmiente por tres escarpías que ayoyarán sus cabezas contra la zapata del riel. En los durmientes de junta no se colocarán sillas, haciendo descansar directamente sobre ellos el conjunto del riel i de las eclisas; la amarra del eclisaje sobre dichos durmientes se realizará mediante el empleo de tres escarpías que se apoyarán contra la parte superior del ala horizontal de las eclisas.

No prestándose ni las eclisas ni las sillas para dar por sí solas la inclinación que el riel debe tener en la vía, habrá que entallar los durmientes con la inclinación de $\frac{1}{36}$ que presentan las llantas del material rodante en servicio (figs. 1 i 2), haciendo las entallas con un ancho suficiente para que reciban las sillas, en los durmientes intermedios, i el conjunto del riel i de las eclisas, en los durmientes de junta.

Para colocar las escarpías se perforarán previamente los durmientes, una vez puestos en la vía, mediante un taladro de 10 mm. de diámetro.

Conviene observar aquí que, antes de colocar definitivamente los materiales metálicos de la enrielladura, deben alquitranarse los agujeros para las escarpías i las entallas de los durmientes.

En los planos adjuntos pueden consultarse todos los detalles relativos al descanso de los rieles sobre los durmientes.

De acuerdo con la disposición adoptada para la enrielladura, podemos observar que, para cada 10 metros de vía, se emplearán 26 sillas de asiento o sea 13 sillas por riel de 10 metros. Siendo el piso de cada silla de 2,25 k. se tendrá así para el peso de las sillas por riel 29,25 k.; es decir, 2,925 k/m¹: el tipo de superestructura adoptado equivaldría, pues, bajo este punto de vista, al que consultara un riel de 28,6 k/m¹. con apoyo directo sobre los durmientes, i sería muy fácil ver que un riel de ese peso no podría racionalmente ser colocado sin silla en una vía bien constituida i destinada a recibir cargas de rueda de 5.000 k.

b) *Secciones de vía en pendiente igual o superior a 0,01 e inferior a 0,02.*— En estas secciones se tendrá en general una enrielladura análoga a la que acabamos de des-

cribir; deben, sí, arbitrarse dispositivos especiales para impedir el avance de los rieles sobre los durmientes.

Teniendo en cuenta que se trata de líneas de simple vía i que una pendiente de 0,02 no es en manera alguna exajerada, hemos adoptado con tal objeto la colocacion de 2 sillas de detencion por riel de 10 metros, distribuyendo estas sillas en la forma que se indica en los planos adjuntos.

Al mismo arbitrio se recurrirá en la enrielladura de las secciones de vía, aun en horizontal, situadas en las inmediaciones de una estacion i hasta 400 m. adelante de la aguja estrema. Naturalmente, si la pendiente de dicho trozo de línea fuera igual o superior a 0,02, se enriellará en conformidad a los planos tipos que a dichas secciones se refieren.

En cuanto a los detalles de la colocacion de las sillas de detencion, son ellos análogos a los que se refieren a las sillas de asiento; la abertura de los hoyos que ellas exigen en el alma del riel se efectuará en el momento de colocarlas, a mano o mecánicamente.

c) *Secciones de vía en pendiente igual o superior a 0,02.*—Los detalles de la enrielladura son análogos en estas secciones a los ya indicados. Eso sí que se dispondrán en ellas 3 sillas de detencion, distribuidas en la forma que indican los planos adjuntos.

§ II.—*Superestructura de la vía en curva*

1. *Peralte.* Estando destinado principalmente el peralte a contrabalancear la influencia de la fuerza centrífuga, deberá variar con la velocidad de circulacion i con el radio de la curva; pero, como sería imposible proporcionar un peralte para cada velocidad, en una curva de radio dado, se hace indispensable fijar aquél de antemano.

Si se tiene presente que la velocidad de circulacion está íntimamente relacionada con el radio de la curva i que los diversos trenes recorrerán una curva dada con velocidades distintas, se llega a la conclusion de que la velocidad, para el cálculo del peralte, debe ser un término medio entre la de los trenes rápidos i lentos i tener ademas una estrecha relacion con el radio.

El estudio de esta cuestion nos ha conducido a aceptar los valores de la velocidad V , en kilómetros por hora, dados por la fórmula siguiente, en la cual R es el radio de la curva expresado en metros:

$$V = 3 \sqrt{R}$$

Como el peralte σ es dado, para una línea de trocha a , por la fórmula

$$\sigma = \frac{a V^2}{127 R}$$

tendremos, introduciendo en lugar de V su valor,

$$\sigma = \frac{1}{14} a$$

El peralte será, pues, constante siempre que la velocidad $V = 3\sqrt{R}$ sea inferior o igual al máximo fijado para la circulación en curva. Como en las curvas abiertas puede aceptarse una velocidad máxima igual a la de las alineaciones, el valor de que se trata puede fijarse en 45 kilómetros por hora, valor que, reemplazado en lugar de V en la fórmula de mas arriba, da 225 metros como radio de la curva bajo el cual el peralte queda constante.

Para curvas de radio mayor, el peralte va disminuyendo i se calculará por la fórmula

$$\sigma = \frac{a V^2}{127 R}$$

dando a V el valor máximo de 45 km. por hora.

Hemos llegado así a un peralte máximo igual a $\frac{1}{14}$ de la trocha, o sea a 0,072 m. En la práctica se han adoptado a veces peraltes mas considerables, llegándose a proponer un peralte máximo igual a $\frac{1}{6,66}$ de la trocha, esto es a 0,15 m. (1); pero, teniendo en cuenta las observaciones ya formuladas i la tendencia jeneral a reducir los peraltes, constatada por el Congreso de Ferrocarriles de 1892, no titubeamos en adoptar la cifra indicada.

En el cuadro siguiente hemos agrupado todos los datos que permiten fijar el peralte para una curva cualquiera.

Radio de la curva en m.	Velocidad, en kilómetros por hora	Peralte, en mm.	Radio de la curva, en m.	Velocidad, en kilómetros por hora	Peralte, en mm.
80	27	72	300	45	53
90	28,5	72	350	45	46
100	30	72	400	45	40
120	33	72	450	45	36
150	37	72	500	45	32
180	40	72	1.000	45	16
200	42,5	72	2.000	45	8
250	45	64	4.000	45	4

2. *Ensanche.*—El ensanche de las curvas es indispensable para facilitar la circulación, siempre que las ruedas opuestas del vehículo que considere se encuentren a un

(1) HUBERT.—*Traité des chemins de fer d'intérêt local*, 1893.

SARTIAUX ET BANDEALLI.—*Les chemins de fer de la Corse*, 1883.

mismo tiempo en contacto con los rieles interior i exterior de la curva, respectivamente.

En efecto, en tal caso, el vehículo no podrá avanzar sin ejercer una presión considerable sobre uno u otro de esos rieles, presión que tendrá por efecto deformar la vía i hacer muy difícil el paso por la curva del sistema rectangular formado por las ruedas montadas sobre ejes rígidos.

Hai aún que tomar en cuenta la necesidad de dejar en todo caso entre las pestañas de las ruedas i los rieles un juego mínimo total de 10 mm., para tener en cuenta las desigualdades que se producen en la colocación de la vía o en el calaje de los ejes.

La observación del material rodante en uso actual nos ha permitido reconocer que el vehículo que necesita disponer de un mayor juego para la circulación en curva es la locomotora Rogers de 4 ejes acoplados en la cual los ejes extremos se encuentran a una distancia de 3,710 m. Si dicha locomotora puede pasar sin ensanche en las curvas de 80 m. de radio, se podrá conservar en curva la misma trocha que en recta.

Para estudiar esta cuestión debemos tener presente que el juego total mínimo en recta es de 12 mm. (figs. 1 i 2) i que la longitud del marco rígido formado por las ruedas extremas debe aumentarse en cierta proporción para tomar en cuenta la distancia a la cual la acción de las pestañas se ejerce sobre el riel, hacia adelante o hacia atrás del punto de contacto con la llanta, por lo cual puede adoptarse para dicha longitud 3,95 m. mas o menos.

Por fin, hai que tomar en cuenta que, en la locomotora a que nos referimos, todos los ejes llevan ruedas con pestañas, i que las distancias entre ellos son respectivamente:

entre el primero i segundo.....	1,34 m.
entre el segundo i tercero.....	1,27 m.
entre el tercero i cuarto.....	1,34 m.
	<hr/>
	3,95 m.

(Continuará)



CUADRO NÚM. 7

SUPERSTRUCTURA DE LA VÍA FÉRREA PARA TROCHA DE 1,000 M.

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

DATOS PARA EL CÁLCULO				RESULTADOS DEL CÁLCULO										OBSERVACIONES	
Acciones solicitantes de la superestructura	Característica de los elementos de la superestructura	Disposicion de los elementos de la superestructura	PLATAFORMA		LASTRE		DURMIENTES		RIEL		ECLISAS		SILLAS DE ASIENTO		
			Accion estática	Accion dinámica	Accion estática	Accion dinámica	Accion estática	Accion dinámica	Accion estática	Accion dinámica	Accion estática	Accion dinámica	Accion estática		Accion dinámica
<i>Acciones estáticas</i>	<i>Lastre</i>	<i>Lastre</i>	<i>Presion media, en k./cm.²</i>	<i>Presion media, en k./cm.²</i>	<i>Presion, en k./cm.²</i>	<i>Presion, en k./cm.²</i>	<i>Hundimientos, en cm.</i>	<i>Hundimientos, en cm.</i>	<i>Hundimiento, en cm.</i>	<i>Hundimiento, en cm.</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>	<p>El valor de los coeficientes que caracterizan la rijidez de la superestructura es el que a continuacion se indica:</p> <p style="text-align: center;">D = 4.472 k. B = 13.557 » A = 9.643 » γ = 3,03</p> <p>Los coeficientes D, B, A i γ tienen el mismo significado que les atribuimos en nuestro estudio sobre la «Superestructura de la vía férrea para trocha de 1,68 m.»</p> <p>Por lo demas, pueden consultarse en dicho estudio los procedimientos de cálculo que permiten obtener los resultados que se consignan en el presente cuadro.</p>	
<i>Acciones dinámicas</i>	<i>Durmiente</i>	<i>Durmiente</i>	<i>Presion media, en k./cm.²</i>	<i>Presion media, en k./cm.²</i>	<i>Presion, en k./cm.²</i>	<i>Presion, en k./cm.²</i>	<i>Hundimientos, en cm.</i>	<i>Hundimientos, en cm.</i>	<i>Hundimiento, en cm.</i>	<i>Hundimiento, en cm.</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>	<i>Flexion, en k./cm.²</i>		
carga máxima de rueda... 5,000 k. carga máxima de riel... 3,000 » carga máxima de rueda: a plomo del durmiente... 7,500 k. entre dos durmientes... 10,000 » carga máxima de riel... 4,500 » esfuerzo trasversal máximo: hacia el interior de la vía... 675 » hacia el exterior de la vía... 2,250 »	coeficiente del lastre 3 k./cm. ² longitud... 180 cm. ancho... 20 » altura... 12,5 » momento de inercia 3,255,2 cm. ⁴ módulo de flexion... 520,8 cm. ³ coeficiente de elasticidad... 100,000 k./cm. ² peso por metro corrido... 25,6 k. altura... 105 mm. ancho de la zapata... 90 » momento de inercia: nuevo... 4,755,000 mm. ⁴ desgastado... 3,875,000 » módulo de flexion: nuevo... 90,057 mm. ³ desgastado... 76,900 » coeficiente de elasticidad... 20,000 k./mm. ² longitud... 630 mm. momento de inercia 818,750 mm. ⁴ módulo de flexion... 18,358 mm. ³ coeficiente de elasticidad... 20,000 k./mm. ² longitud... 160 mm. ancho... 180 » espesor... 8,5 » momento de inercia 8,188 mm. ⁴ módulo de flexion... 1,925 mm. ³ coeficiente de elasticidad... 20,000 k./mm. ²	espesor bajo el durmiente: sobre plataforma consistente 20 cm. sobre plataforma de consistencia media... 25 » sobre plataforma poco consistente... 30 » El atraque se realiza en una estension de 37,5 cm. a uno i otro lado del eje del riel. distancia entre los ejes durmientes: de juntura... 46 cm. de contra juntura... 57 » intermedios... 70 » El riel descansa sobre los durmientes intermedios con interposicion de una silla de asiento que se fija con 3 escarpas. El conjunto del riel i de las eclisas descansa directamente sobre los durmientes de juntura, fijándose a cada uno de ellos por 3 escarpas. En todo caso, la inclinacion del riel sobre la vertical es de 1:30. Se admite para el cálculo que las acciones verticales se apliquen en el centro de la superficie de rodadura, i que las acciones transversales dirigidas hacia el exterior de la vía, lo hagan a 9 mm. bajo dicha superficie.	plataforma consistente... 0,44 plataforma de consistencia media... 0,34 plataforma poco consistente... 0,28 plataforma consistente... 0,66 plataforma de consistencia media... 0,51 plataforma poco consistente... 0,42 a plomo del riel... 2,01 en el extremo del durmiente... 1,83 en el limite interior de la zona atracada... 2,02 a plomo del riel... 3,02 en el extremo del durmiente... 2,75 en el limite interior de la zona atracada... 3,03 a plomo del riel... 0,67 en el extremo del durmiente... 0,61 en el limite interior de la zona atracada... 0,67 en el medio del durmiente... 0,67 Flexion, en k./cm. ² a plomo del riel... 51,17 Compresion, en k./cm. ² contra la arista interior de la silla de asiento... 11,70 contra la arista interior de la silla de asiento... 26,45 contra la arista exterior de la silla de asiento (1)... 45,31 Los valores obtenidos para el hundimiento de las diversas secciones del durmiente en el lastre muestran que sus extremos se hunden ménos que su punto medio; pero la diferencia de que se trata no es mui sensible i no bastaria por si sola para justificar una disminucion en la longitud del durmiente. (1) En caso de existir entre el riel i el durmiente una silla de detencion, la fatiga por compresion se eleva, en k./cm. ² , a 111,47.	a plomo del riel... 0,67 en el extremo del durmiente... 0,61 en el limite interior de la zona atracada... 0,67 en el medio del durmiente... 0,67 Flexion, en k./cm. ² a plomo del riel... 76,75 Compresion, en k./cm. ² contra la arista interior de la zapata... 25,90 contra la arista interior de la zapata... 72,87 contra la arista exterior de la zapata... 2,027,00 En las condiciones de solicitacion en que nos hemos colocado, el riel se encuentra siempre en equilibrio de rotacion. El equilibrio de traslacion lateral queda asegurado por los rebordes de la silla de asiento i por el rozamiento de ésta sobre el durmiente, aun prescindiendo de la resistencia de las escarpas.	en el punto medio entre dos durmientes... 0,52 Flexion, en k./cm. ² fatiga máxima... 1.605,00 Compresion, en k./cm. ² contra la arista interior de la zapata... 25,90 contra la arista interior de la zapata... 72,87 contra la arista exterior de la zapata... 2,027,00 Se ha dispuesto la juntura en forma que asegure a la vía, en lo posible, un descenso uniforme del riel entre los durmientes.	en el punto medio del tramo de juntura... 2.185,00 en el punto medio del tramo de juntura... 4.370,00 Flexion, en k./cm. ² a plomo de la arista interior de la zapata... 25,90 Compresion, en k./cm. ² a plomo de la arista interior de la zapata... 72,87 a plomo de la arista exterior de la zapata... 2,027,00									