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 esplotacion 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 escepcionales 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 lo s ferrocarriles chilenos de trocha de 1,000 m. con la superstructura 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 exajerado, 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 superstructura 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 estremos un espacio libre, variable con la temperatura a que se verifica la enrieladura. Fijando como

temperaturas estremas —10° C i +50° C i como temperatura media +15° 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° C.....	0,0038 m
contraccion máxima, a partir de +15° C	0,0027 »
dilatacion total, a partir de —10° C.....	0,0065 »

Segun esto, si suponemos que se enrielara al mínimo de temperatura aceptado, deberia quedar entre los rieles un intervalo mínimo de 0,0065 m. para que se tocaran al producirse la temperatura máxima de +50° C; al enrielar a una temperatura de +20° C, la juntura 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 juntura 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 juntura 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 enrieladura, se dará el intervalo de juntura 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 enrieladura, 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 juntura mediante entallas que aseguren la inclinacion 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 juntura contra el desapretamiento, especialmente si se tiene cuidado de vijilar el eclisaje en los primeros meses que siguen a su colocacion. Por lo demas, las tuercas de los pernos irán al interior de la vía para facilitar su inspeccion.

Las junturas se corresponderán en ámbas filas de rieles, como se ve en los planos adjuntos, en los cuales pueden consultarse los demas 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 escarpias que ayoyarán sus cabezas contra la zapata del riel. En los durmientes de juntura 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 escarpias 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 inclinacion que el riel debe tener en la vía, habrá que entallar los durmientes con la inclinacion de $\frac{1}{30}$ 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 juntura.

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

Conviene observar aquí que, ántes de colocar definitivamente los materiales metálicos de la enrieladura, deben alquitranarse los agujeros para las escarpias 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 disposicion adoptada para la enrieladura, 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 superstructura adoptado equivaldria, pues, bajo este punto de vista, al que consultara un riel de 28,6 k/m¹. con apoyo directo sobre los durmientes, i seria mui fácil ver que un riel de ese peso no podria 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 jeneral una enrieladura 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 enrieladura 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 enrielará 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 exijen 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 enrieladura 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.—*Superstructura 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 seria 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 espresado 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 circulacion 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 calentará por la formula

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

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 $\frac{1}{666}$ 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 circulacion, siempre que las ruedas opuestas del vehículo que considere se encuentren a un

(1) HUMBERT.—*Traité des chemins de fer d'intrét local*, 1893.
SARTIAUX ET BANDEALLÍ.—*Les chemins de fer de la Corse*, 1883.

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

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

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 colocacion de la vía o en el calaje de los ejes.

La observacion del material rodante en uso actual nos ha permitido reconocer que el vehículo que necesita disponer de un mayor juego para la circulacion en curva es la locomotora Rogers de 4 ejes acoplados en la cual los ejes estremos 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 cuestion debemos tener presente que el juego total mínimo en recta es de 12 mm. (figs. 1 i 2) i que la lonjitud del marco ríjido formado por las ruedas estremas debe aumentarse en cierta proporcion para tomar en cuenta la distancia a la cual la accion de las pestañas se ejerce sobre el riel, hácia adelante o hácia atras del punto de contacto con la llanta, por lo cual puede adoptarse para dicha lonjitud 3,95 m. mas o ménos.

Por fin, hai que tomar en cuenta que, en la locomora 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.
	3,95 m.

(Continuará)

CUADRO NÚM. 7

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

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

DATOS PARA EL CÁLCULO

Acciones solicitantes de la superstructura

Acciones estáticas

carga máxima de rueda	5.000 k.
carga máxima de riel	3.000 »

Acciones dinámicas

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:	
hácia el interior de la vía	675 »
hácia el esterior de la vía	2.250 »

Característica de los elementos de la superstructura

Lastre

coeficiente del lastre	3 k./cm.²

Durmiente

lonjitud	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

Riel

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

Eclisa

lonjitud	630 mm.
momento de inercia	818.750 mm.⁴
módulo de flexion	18.358 mm.³
coeficiente de elasticidad	20.000 k./mm.²

Silla de asiento

lonjitud	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

Disposicion de los elementos de la superstructura

Lastre

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.

Durmiente

distancia entre los ejes durmientes:

de juntura	46 cm.
de contra juntura	57 »
intermedios	70 »

Riel

El riel descansa sobre los durmientes intermedios con interposicion de una silla de asiento que se fija con 3 escarpias.

El conjunto del riel i de las eclisas descansa directamente sobre los durmientes de juntura, fijándose a cada uno de ellos por 3 escarpias.

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 dirijidas hácia el esterior de la vía, lo hagan a 9 mm. bajo dicha superficie.

RESULTADOS DEL CÁLCULO

PLATAFORMA

Accion estática	Accion dinámica
Presion media, en k./cm.²	*Presion media, en k./cm.²*
plataforma consistente 0,44	plataforma consistente 0,66
plataforma de consistencia media 0,34	plataforma de consistencia media 0,51
plataforma poco consistente 0,28	plataforma poco consistente 0,42

Las cifras indicadas son solo aproximadas por cuanto se ha supuesto, al calcularlas, que la presion del lastre se reparte sobre la plataforma de una manera uniforme. Se ha admitido, al mismo tiempo, que el lastre trasmite las presiones a la plataforma, segun rectángulos determinados por rectas inclinadas de 45° i que tienen por directrices los contornos de las partes atracadas del durmiente.

LASTRE

Accion estática	Accion dinámica
Presion, en k./cm.²	*Presion, en k./cm.²*
a plomo del riel 2,01	a plomo del riel 3,02
en el estremo del durmiente 1,83	en el estremo del durmiente 2,75
en el límite interior de la zona atracada 2,02	en el límite interior de la zona atracada 3,03

DURMIENTES

Accion estática	Accion dinámica
Hundimientos, en cm.	*Hundimientos, en cm.*
a plomo del riel 0,67	a plomo del riel 1,01
en el estremo del durmiente 0,61	en el estremo del durmiente 0,92
en el límite interior de la zona atracada 0,67	en el límite interior de la zona atracada 1,01
en el medio del durmiente 0,67	en el medio del durmiente 1,01
Flexion, en k./cm.²	*Flexion, en k./cm.²*
a plomo del riel 51,17	a plomo del riel 76,75
Compresion, en k./cm.²	*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 esterior 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 estremos se hunden ménos que su punto medio; pero la diferencia de que se trata no es mui sensible i no bastaría por sí sola para justificar una disminucion en la lonjitud 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.

RIEL

Accion estática	Accion dinámica
Hundimiento, en cm.	*Hundimiento, en cm.*
en el punto medio entre dos durmientes 0,52	en el punto medio entre dos durmientes 1,04
Flexion en k./cm.²	*Flexion en k./cm.²*
fatiga máxima 1.605,00	fatiga máxima 3.210,00
Compresion en k./cm.²	*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 esterior 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 escarpias.

ECLISAS

Accion estática	Accion dinámica
Flexion, en k./cm.²	*Flexion, en k./cm.²*
en el punto medio del tramo de juntura 2.185,00	en el punto medio del tramo de juntura 4.370,00

Se ha dispuesto la juntura en forma que asegure a la vía, en lo posible, un descenso uniforme del riel entre los durmientes.

SILLAS DE ASIENTO

Accion estática	Accion dinámica
	Flexion, en k./cm.²
	a plomo de la arista esterior de la zapata 3.356,00
Compresion en k./cm.²	*Compresion en k./cm.²*
a plomo de la arista interior de la zapata 25,90	a plomo de la arista interior de la zapata 72,87
	a plomo de la arista esterior de la zapata 2.027,00

OBSERVACIONES

El valor de los coeficientes que caracterizan la rijidez de la superstructura es el que a continuacion se indica:

D = 4.472 k.
B = 13.557 »
A = 9.643 »
γ = 3,03

Los coeficientes D, B, A i γ tienen el mismo significado que les atribuimos en nuestro estudio sobre la «Superstructura de la vía férrea para trocha de 1,68 m.»

Por lo demas, pueden consultarse en dicho estudio los procedimientos de cálculo que permiten obtener los resultados que se consignan en el presente cuadro.