

TRATADO DE FERROCARRILES

POR JOSÉ KOLBERG,

Profesor de Mecánica práctica y construcción de vías de comunicación
en la escuela Politécnica de Quito [1875].

(Continuación).

II. *Forma de la huella ó superficie de marcha.* Llámase así la superficie circular y algo cónica con que la rueda toca y corre por los rieles. En su principio, esta huella tenía una forma completamente cilíndrica. Pero á causa del juego indispensable entre los carriles y la pestaña, las ruedas ejecutaban un serpenteo lateral muy fuerte, por cuyo motivo se dió á la superficie de marcha una forma algo cónica [fig. 1] inclinada hácia el interior de los carriles, produciéndose en el vagón una tendencia natural á seguir la línea más baja entre los rieles, que es la recta determinada por el eje del camino. Además, por la forma cónica de las huellas se tiende á disminuir la resistencia que produce la desigual longitud de las dos hileras de carriles en las curvas. Porque, si ambos círculos en que un par de ruedas marcha, ó sea si ambos círculos de *marcha* tuviesen igual diámetro, resultaría en las curvas un rozamiento considerable, por ser un mismo el espacio que, en igualdad de tiempo, las ruedas podrían y desigual el que deberían avanzar. Pero, un diámetro distinto en los círculos de *marcha* solo se obtiene por una forma cónica de la huella, suponiendo que el par de ruedas de que se trata se disloque hácia un lado la cantidad conveniente. No obstante, el provecho que ofrece esta construcción, se pierde en gran parte por la posición torcida que los vagones afectan al correr en las curvas, y además la forma originaria de la huella se deteriora al poco tiempo por el uso, según lo demuestra la línea de puntos de la [fig. 1].

Llámase *conicidad de la rueda* el ángulo formado entre el eje del cono y el lado de este, ó también la medida de aquel ángulo, determinada por su tangente que llega á ser $\frac{1}{16}$ — $\frac{1}{20}$, en término medio $\frac{1}{17}$.

A veces, la conicidad en la parte exterior de la rueda, se hace algo mayor, hasta $\frac{1}{7}$, para facilitar un poco el trabajo en restablecer sobre el torno las huellas ó calces deteriorados.

III. *La pestaña ó corona de trazo* recibe la forma que está representada en la [fig. 1]. En el perfil de la pina se añade á la superficie cónica un cimacio ó canal redondo de cerca de 0,7—2,0^{cm.} de radio, cuya concavidad mediante una recta de una inclinación con la vertical de un $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$, se transforma en un rode-

te de 1,1—1,2^{cm.} de radio.

La altura conveniente de la *pestaña* es de grandísima importancia; pues, si es demasiado pequeña, podrá causar un descarrilamiento con facilidad, y al contrario, por ser demasiado grande, aumenta la seguridad y ocasiona, además, varios inconvenientes con respecto á la facilidad de la construcción, sobre todo con relación á los cambios y cruzamientos de vía.

No es de tanta importancia la anchura de la *pestaña*, pero tampoco debe ser demasiada, por los inconvenientes que resultarían respecto de los cambios &, y por otro lado, la mínima anchura queda determinada por la solidez del hierro.

Las dimensiones que con más frecuencia se emplean, son:

altura de la pestaña <i>h</i>	=2,5—3,5 centím.
„ en término medio.....	= 3,0 „
anchura de la misma.....	=2,4—3,4 „
„ en término medio.....	= 3,0 „

IV. *Juego entre los carriles.* A fin de evitar el roce entre el carril y la pestaña debe haber algún espacio ó juego, que se necesita por encontrarse siempre algunos rieles con demasiada estrechez, y las ruedas en una distancia que es mayor que la debida. Una posición demasiado estrecha causa roce y un gasto grande de carriles y ruedas, y aun podría ocasionar el descarrilamiento. Mas, no debe ser excesivo el juego, porque resultaría un serpenteo fuerte de los carruajes entre los carriles. En la práctica, el espacio concedido á las ruedas presenta valores algo variables, gastándose la pestaña, y es dicha distancia igual á 0,5—1,3 centímetros para cada rueda, de suerte que todo el espacio de la dislocación lateral llega á 1,0—2,5 centímetros.

V. *Distancia interior de las ruedas.* Esta se mide un poco más arriba de la pestaña y se calcula fácilmente, cuando se da la anchura de la vía. Siendo esta ordinariamente=1,436^m, la anchura de la corona=2,4—3,4^{cm.} y el juego=1,0—2,5^{cm.}, resulta que la distancia interior de las ruedas es

135,8 hasta 136,3; en término medio 136,0 centím.

VI. *Anchura del calce ó de la huella.* Esta se debe tomar tan grande que baste para impedir el que la rueda caiga del carril, aunque sea algo grande el juego. Según la experiencia, en caminos principales, puede asignarse por *anchura total del calce y pestaña*:

12,7 hasta 15,2; en término medio 14 centímetros.

§ 15.

Perfil normal de la luz

Con este nombre se entiende un cierto espacio que siempre debe dejarse vacío, para que el tren tenga lugar suficiente por donde pasar, sin que choque contra objetos exteriores cualesquiera. Este perfil depende de la forma y magnitud de las locomotoras y de los carruajes que transitan por el camino, y debe tomarse la precaución de que haya también bastante espacio, para el caso de que se encuentre un conductor colocado fuera del vagón, ó haya puertas abiertas, brazos extendidos, &c.

La (fig. 2) representa el perfil normal de la luz con sus medidas respectivas, tal como se ve aplicado por toda la Alemania, dando á la vez á conocer los mayores perfiles de vagones y locomotoras que se admiten; la línea de puntos designa el perfil máximo de la carga. Adoptado una vez un cierto perfil en todos los caminos de un país, será posible que todos los carruajes, de cualquier parte, pasen por todos los túneles, puentes, estaciones, &c., de todos los otros ferrocarriles del mismo país. En otras naciones no hay una convención semejante entre las diferentes caminos de hierro, lo que es muy incómodo para el transporte, y especialmente en el tiempo de guerra.

Las direcciones de los varios caminos de hierro en Alemania, no solo adoptaron reglas comunes para la construcción de los ferrocarriles, sino que por el mismo hecho dieron á conocer por sus "*principios para la formación de los caminos de hierro*" los resultados más preciosos de una larga experiencia, que se aumentan cada año merced á sus asambleas, las que forman los ingenieros de más nota. A estos *principios ó convenciones* recurriremos muchas veces en este tratado, por no encontrarse semejante obra en cualquier otro país.

§ 16.

Presión de las ruedas sobre los carriles.

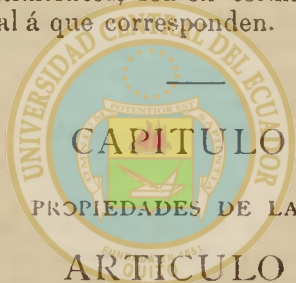
De esta presión, y en particular de la que ejercen las ruedas motrices de la locomotora, depende la solidez que se debe dar á las diferentes partes de un camino de hierro. La experiencia comprueba como *números máximos de la presión de una rueda de la locomotora en*

caminos de hierro principales.....	6,5 toneladas	
„ secundarios con vía ancha.....	5,0	„
„ con una anchura de 1,00 ^m	3,8	„
„ con una anchura de 0,75 ^m	2,5	„

Los vagones de carga en caminos principales ejercen, como término máximo, una presión de 4 toneladas por cada rueda, la de los coches de viajeros es igual á 2,5—2,6 toneladas. Para ferrocarriles servidos por caballos esta presión se puede apreciar en 2 toneladas, por lo que toca á vagones de carga, y en 1,5 toneladas la que corresponde á los de viajeros.

Estos números se entienden para el estado de reposo. Durante el movimiento se verifica una presión mucho más crecida, y se notará que para carruajes de dos y cuatro ejes, los números indicados se deben aumentar un 40 por ciento, y para los de 3 ejes hasta un 100 por ciento.

De un influjo notable son, también, las presiones horizontales causadas por las perturbaciones laterales, como son el serpenteo, fuerza centrífuga, viento, &c.; más, su intensidad es menos conocida. Algunas experiencias de Wöhler, hacen probable que la presión lateral producida por el serpenteo, y otros semejantes sacudimientos, son en término máximo como $\frac{2}{3}$ de la presión vertical á que corresponden.



CAPITULO I.

PROPIEDADES DE LA VÍA.

ARTICULO I.

ÁREA HISTÓRICA

Elevación del carril exterior y ensanche de la vía.

§ 17.

Calzada.

Bajo el nombre de *calzada* se comprende toda la parte superior del ferrocarril, ó sea el propio camino con sus hileras de rieles y las varias disposiciones para asegurarlos, tales como son las *traviesas* ó *largueros*, la *caja* y el *balasto*.

Los rieles reposan sobre las *traviesas* ó *largueros*, ya sea directamente, ya por medio de planchas metálicas ó cojinetes. La *caja* que es una capa de grava gruesa ó de piedras menudas, forma el asiento de las *traviesas*, y tiene por objeto el repartir su presión á una superficie mayor del terraplén. El *balasto* es la capa de grava que llena el espacio entre las *traviesas*, y con que se cubre también la *caja* que está fuera de ellas, sirviendo para impedir una dislocación lateral de las *traviesas*. Sin embargo, el *balasto* muchísimas veces se considera solamente como parte de la *caja*.

Las condiciones, pues, que una buena calzada debe lle-

nar, serán las siguientes:

1º La presión ejercida por las ruedas habrá de repartirse sobre una superficie tan grande del terraplén como sea posible, á fin de que en ninguna parte pueda tener lugar un hundimiento perjudicial.

2º La calzada y en particular la disposición, aseguración, asiento y unión de los carriles deberán proporcionar una seguridad completa respecto al rompimiento, trastorno y desviación de los carruajes.

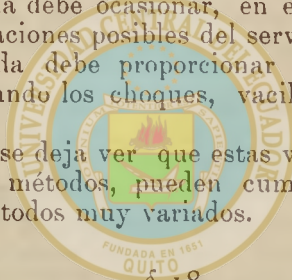
3º La calzada no debe causar sino los menores gastos posibles en su establecimiento y conservación.

4º La calzada, asimismo, debe ocasionar los menores gastos posibles en el servicio, lo que se verificará, a) si juntamente con sus rieles &, solo ofrece al movimiento de los carruajes la menor resistencia posible, y b) si en ella es pequeño el deterioro de los materiales del servicio.

5º La calzada debe ocasionar, en el caso de reparaciones, las menores alteraciones posibles del servicio.

6º La calzada debe proporcionar la mayor comodidad á los viajeros, evitando los choques, vacilaciones, ruido, polvaradas, &.

Desde luego se deja ver que estas varias condiciones, según los diferentes métodos, pueden cumplirse en grados muy diversos y por métodos muy variados.



§ 18.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Condiciones bajo las cuales un carruaje de cuatro ruedas y ejes fijos marcha en una curva con libertad.

Sea un par de ruedas fijamente unidas entre sí [fig. 3], cual se emplea en los ferrocarriles, pero que una de las ruedas tenga mayor diámetro que la otra. Puesto en movimiento tal sistema sobre un plano horizontal, rodará como un cono al contorno del punto C , en donde el eje corta al plano horizontal, sin encontrar resistencia alguna. Por los puntos A y B en donde las ruedas tocan al suelo, póngase dos planos perpendiculares al eje del sistema; las superficies circulares de las ruedas quedarán cortadas en dos circunferencias, á las que llamaremos *círculos de marcha*. Si desde C se tiran líneas rectas á todos los puntos del círculo de marcha A , todas éllas tocarán también la circunferencia del círculo de marcha B , estando situadas sobre la superficie curva de un cono recto, al que podemos llamar *cono de marcha* del sistema. Sean r y r' los rádios de los círculos de marcha, R y R' los respectivos de los círculos situados en el plano horizontal por donde las ruedas corren; se verificará la proporción directa

$$\frac{r}{r'} = \frac{R}{R'} \quad [1]$$

esto es, que para semejante par de ruedas, *los radios de los círculos de marcha son directamente como los radios de los círculos del camino.*

Ahora bien, cuando dos sistemas, de la forma indicada y perfectamente iguales, se colocan sobre un plano, de manera que las prolongaciones de sus ejes se encuentren en el mismo punto *C*, hallándose enlazados los dos ejes por una armazón común que impida su dislocación relativa y, no obstante, permita el giro de las ruedas, tendremos un *tren de cuatro ruedas y ejes convergentes*, el cual se moverá también sin impedimento alguno al rededor del punto *C*, en que se hallan los vértices de ambos conos de marcha. De donde concluimos; que un carruaje con cuatro ruedas puede rodar en una curva circular sin hallar resistencias, supuesto 1) que *los radios de los círculos de marcha sean como los radios de las curvas que describen*, y 2) que *los ejes tengan una dirección hacia el centro común del camino.*

La primera de estas dos condiciones, indispensables para un movimiento libre, se puede realizar en cierto grado en los ferrocarriles, aunque los carruajes tengan cuatro ruedas de igual diámetro. Para esto, basta hacer de forma cónica el contorno de estas, y colocar el tal carruaje [fig. 4] sobre los rieles de manera que el círculo exterior de marcha se haga mayor que el interior, llenando la condición [1]. Sea *r* el radio medio de la huella ó del calce, *σ* la dislocación necesaria en sentido del radio de la curva, y *α* la conicidad de las ruedas. Serán

$$r + \sigma \operatorname{tang} \alpha, \text{ y } r - \sigma \operatorname{tang} \alpha$$

los radios de los círculos de marcha. Además, si *R* es el radio medio de las curvas de la vía, cuya anchura se expresa por *a*, entonces serán

$$R + \frac{1}{2} a, \text{ y } R - \frac{1}{2} a$$

los radios de las dos hileras de carriles en la curva, y para un movimiento libre deberá verificarse según [1], la relación

$$\frac{r + \sigma \operatorname{tang} \alpha}{r - \sigma \operatorname{tang} \alpha} = \frac{R + \frac{1}{2} a}{R - \frac{1}{2} a} \quad [2]$$

de donde se infiere que

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2} ra}{R \operatorname{tang} \alpha} \quad [3], \quad \operatorname{tang} \alpha = \frac{\frac{1}{2} ra}{\sigma \cdot R} \quad [4]$$

$$R = \frac{\frac{1}{2} ar}{\sigma \operatorname{tang} \alpha} \quad [5]$$

La primera de estas ecuaciones da el juego total de las ruedas, indispensable para que las últimas puedan tomar la posición conveniente; la segunda ecuación manifiesta la magnitud de la conicidad, y la tercera da á conocer el radio admisible de curvatura.

La ley contenida en la última ecuación indica, que el radio R de la curva puede ser tanto menor, cuanto son menores el diámetro de las ruedas y la anchura de vía; y cuanto son mayores el juego y la conicidad de la ruedas.

Esta conicidad tiene un límite que no puede traspasarse y se expresa por $\operatorname{tang} \alpha = \frac{1}{17}$, puesto que por una conicidad más considerable, las ruedas entrarían por fuerza entre los rieles, empujándolos al lado, como lo haría una cuña.

Si se supone

una vía ancha.....	$a=1,436^m$
ruedas de un diámetro.....	$2r=1,0$ „
la conicidad.....	$\operatorname{tang} \alpha = \frac{1}{17}$ „
los radios de las curvas $R=1000; 600; 360; 300; 180$ „	
resultará por juego $\sigma=6,1; 10,2; 16,9; 20,3; 33,9$ milím.	

Los últimos valores sobrepujan mucho á los de 10–25 milímetros, marcados en el § 14, IV, que se emplean en trechos rectilíneos de ferrocarril, y también son algo mayores que los que suelen admitirse en las curvas. Así que, no se puede aprovechar tanto de la conicidad de las ruedas, cuanto sería necesario.



Movimiento de los vagones en las curvas de ferrocarril.

Las condiciones expuestas en el párrafo anterior y que deben verificarse, para que el carruaje no presente mayor resistencia en las curvas que en trechos rectilíneos, nunca pueden conseguirse por completo en los ferrocarriles con los vagones que se suelen emplear. Los ejes, de cada vagón tienen una dirección paralela entre sí é invariable, no pudiéndose dirigir á la vez hácia el centro de la curva, y además; por ser torcida toda la posición de los carruajes, faltan las fuerzas que se piden para que las ruedas, todas á la vez, se pongan en la posición conveniente, á fin de que se verifique la proporción debida entre los círculos de marcha y los de los espacios recorridos.

Para hacerlo evidente, imaginémonos que un carruaje provisto de *dos ejes paralelos y cuatro ruedas cónicas* vaya á pasar de un trecho rectilíneo de la vía á otro curvo; se verá que la rueda exterior delantera, corre contra los carriles exteriores, con lo cual verdaderamente se hace mayor el círculo de marcha de la rueda exterior delantera, y menor el de la rueda

interior así mismo delantera; y cuando la conicidad de las ruedas está en relación exacta con el juego σ según la ecuación (3), podrán colocarse las ruedas delanteras en la posición necesaria para que se verifique la proporción entre los círculos de marcha y el camino. Mas, realizándose así la relación verdadera entre las dos ruedas delanteras, se verifica una relación viciosa entre las dos ruedas del eje posterior; pues, mientras que el vagón entra en la curva, la rueda interior de atrás ó permanece en su posición primitiva ó tiende á aproximarse más al carril interior, con lo cual la rueda exterior de atrás se aleja del carril exterior. Con esto se amplifica, en el eje posterior, el círculo interior de marcha y se disminuye el exterior, resultando precisamente lo contrario de lo que debería resultar. A este inconveniente se agrega otro muy esencial, que es la dirección viciosa que toman los ejes, puesto que todo el carruaje adquiere una posición torcida respecto á la dirección del camino; mientras que el eje posterior afecta una dirección más ó menos central, se consigue lo contrario en el eje delantero, porque su extremo interior se aleja sensiblemente de la dirección del centro. La figura 5 muestra la posición torcida, con que un vagón de ferrocarril corre por una curva del camino. En el eje delantero es verdadera la relación entre los círculos de marcha y falsa su posición; en el eje de atrás es verdadera su posición y falsa la relación entre los dos círculos de marcha. En cada eje se cumple, solamente, una de las dos condiciones que deben verificarse; y siempre falta en el uno, lo que tiene lugar en el otro.

Ahora ocurre la cuestión de si es posible ó no, dar á los carruajes una construcción según la cual tengan una tendencia natural á ponerse en la posición conveniente, cualquiera que sea la curva que debe recorrer, de manera que no solo en las ruedas delanteras, sino también en las de atrás, se observe la relación verdadera que los círculos de marcha deben afectar.

En la figura 6 está representado un carruaje que cumple con la condición pedida. Se ve colocado sobre los carriles, de manera que los círculos de marcha en cada rueda sean de igual magnitud. Si este tren se pone en movimiento, se aumentarán los diámetros de los círculos exteriores de marcha, é irán en disminución los de los interiores, y en el caso de ser las conicidades bastante grandes, el carruaje tomará con el tiempo una posición que cumple la relación debida entre los dos círculos de marcha de cada eje.

Mas, esta disposición tiene por desgracia, la desventaja de que el vagón habría de volverse cada vez que tuviese que marchar en sentido opuesto al anterior, por cuya razón dicha construcción no ha logrado introducirse en la práctica; antes se tolera el rozamiento que es indispensable, cuando en ambos pares de ruedas se disponen las conicidades de igual

manera. Además, en breve tiempo, las conicidades se deterioran por el uso, con lo cual los calces toman la forma indicada en la (fig. 1) por la línea de puntos, y siempre es más seguro en los cálculos no tomar en cuenta la conicidad.

§ 20.

Influjo de la fuerza centrífuga.

A. *La rueda exterior delantera ejerce por su pestaña una presión fuerte contra los carriles exteriores, cuando estos no están elevados sobre el nivel de los interiores; cuya presión es próximamente idéntica á la fuerza centrífuga que corresponde al medio peso del vagón.*

Con efecto, la fuerza centrífuga con que el vagón gira en la curva al contorno del centro A [fig. 7], será aproximadamente

$$F = \frac{P \cdot v^2}{g R} \tag{a}$$

en donde P designa el peso total del carruaje, v la velocidad del convoi, g la aceleración de la gravedad ($=9,78^m$ para el Ecuador), y R el radio medio de la curva. Además, la fuerza centrífuga se aplica próximamente en el centro O de gravedad, que podemos suponer colocado en el medio del vagón.

A esta fuerza se oponen, a) la presión normal D , ejercida por el carril exterior en el punto C , en donde la rueda exterior delantera le toca; b) el rozamiento de resbalo ρ bajo las ruedas posteriores, que no será el roce total que allí puede tener lugar, sino una cierta porción de él, cuanto bastará, en este lugar, para desequilibrar la acción de la fuerza centrífuga.

Como todas estas fuerzas, para grandes valores de R , tienen casi igual dirección ó la opuesta, se concluirá que el equilibrio se produce por la relación $F = \rho + D$. Pero, como, además, ρ y D están en equilibrio entre sí, se sigue $\rho = D$, luego $F = 2D$ y $D = \frac{1}{2} F$, ó bien será

$$D = \frac{P \cdot v^2}{2g R} = 0,051 P \frac{v^2}{R} \tag{6}$$

Para $v = 18^m$, lo que corresponde á 64,8 kilómetros por hora, resulta

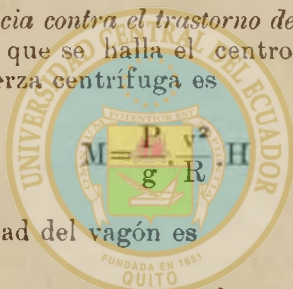
para los radios $R = 100$; 200 ; 500 ; 1000^m
la presión $D = 0,17 P$; $0,85 P$; $0,033 P$; $0,016 P$ kilgr.

Esta presión no puede verificarse sino produciendo un ro-

zamiento muy fuerte entre los carriles exteriores y la rueda exterior de delante, por cuya razón esta, en corto tiempo, sufrirá un deterioro considerable, si no se aplica un remedio conveniente, de lo que luego se hablará.

B. *Se puede inquirir si la fuerza centrífuga tendrá bastante intensidad para vencer el roce del resbalo verificado en las superficies superiores de los carriles por las ruedas de atrás* Este rozamiento tiene por coeficiente $\frac{1}{3}$, en el caso de estar los carriles secos y llenos de polvo, y $\frac{1}{10}$ en el de estar húmedos, por lo cual el roce disponible bajo las ruedas de atrás en su totalidad es $\frac{1}{6} D - \frac{1}{20} D$ ó bien $0,16 P - 0,05 P$. Así es que esta cantidad, puede ser menor que la fuerza centrífuga, cuando la velocidad es grande y el radio de curvatura pequeño, según los ejemplos indicados, pudiendo entonces acontecer que también la rueda exterior de atrás corra frotando contra los rieles exteriores.

C. *La resistencia contra el trastorno de los carruajes depende de la altura H en que se halla el centro de su gravedad. El momento de la fuerza centrífuga es*



y el de la estabilidad del vagón es

$$M = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot H$$

ÁREA $M' = P \cdot a$
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

en donde a es la anchura de vía. En el caso de equilibrio entre ambas fuerzas debe ser $M = M'$, de donde se concluye que tiene que ser

$$v^2 \leq \frac{g \cdot R \cdot a}{2 H}; \quad R \leq \frac{2 H v^2}{g \cdot a} \quad [7]$$

para que el carruaje no sufra un trastorno. Si hacemos $v = 18^m$ $a = 1,436$, $H = 1.2$ metros, el radio límite será $R = 55,5^m$; y si se supone $H = 2^m$, este límite será $R = 92^m$. Comúnmente, los radios de curvas tienen una longitud mucho más considerable, de suerte que el peligro de vuelco no es grande en los caminos de hierro. Sin embargo, en vías angostas y curvas de menor radio se debería atender á la fuerza centrífuga, también bajo este respecto.

§ 21.

Influjo del enganche de los vagones.

Esta unión por la que se forma un tren de vagones, se puede efectuar de dos maneras:

1º En el centro del armazón de cada carruaje se puede fijar un gorrón vertical, y pueden los gorriones consecutivos enlazarse, dos á dos, por medio de barras movibles de hierro. Esta disposición no se ha aprobado en la práctica, puesto que pudiendo los vagones girar libremente al contorno de los gorriones, toman en las curvas la posición poco favorable que hemos expuesto en el § 19, y en trechos rectilíneos su serpeneteo es muy fuerte.

2º Otro método es enlazar por cadenas, ganchos ó barras movibles los dos frentes contiguos de dos vagones vecinos, lo que se verifica uniendo así los medios de los travesaños que llevan los *topes*. Con esta providencia, todos los vagones del convoy quedan siempre extendidos por la fuerza de tracción: en trechos rectilíneos se impide el serpeneteo en cuanto es posible, y en las vueltas de camino se obtiene una colocación más ventajosa de los carruajes; puesto que por este método de unión:

1) Las cadenas de tracción reciben una *dirección* (fig. 8) que corta el vagón posterior inmediato por el lado exterior de su centro de gravedad, y el vagón que precede por su lado inferior, á lo menos en los casos ordinarios. Se produce así una doble fuerza de palanca, que tiende á corregir la posición viciosa que los carruajes afectan por sí mismos.

2) No obstante, *las tensiones* no son iguales en toda la serie de cadenas de tracción; porque siendo estas tensiones, cada vez, iguales á la fuerza de tracción que se necesita para hacer marchar toda la parte posterior del tren, dichas tensiones van disminuyendo á medida que un vagón tiende á ocupar el último lugar en la serie. Así mismo, estas tensiones no tienen la fuerza suficiente para corregir la posición defectuosa de los vagones, siendo así que su componente, en el sentido del radio de la curva, no llega á ser más intensa que el rozamiento del resbalo bajo las ruedas. No obstante, siempre se disminuirá el roce producido al contorno de la pestaña de la rueda exterior delantera.

Si el tren marcha en descenso, la tensión en las cadenas de tracción se hace nula á causa de los frenos aplicados, y en vez de esta tensión se establece en las curvas, una presión fuerte entre los topes interiores, haciendo que los vagones sufran un empuje hácia la parte exterior.

De todo lo dicho resulta que, también en convoyes ente-

ros, la posición de los vagones es viciosa según hemos expuesto en el § 19. La pestaña de la rueda exterior delantera queda frotando contra los carriles exteriores; la rueda interior de atrás hace lo mismo, aunque en menor grado, y también puede suceder que, á favor de la fuerza centrífuga, se halle un poco apartada de los carriles interiores; por lo que toca á las otras dos ruedas, habrá mucho juego. La posición de los ejes es torcida: el delantero de cada vagón forma un ángulo considerable con el radio de la curva, atrasando su extremo exterior; el de atrás tiene más ó menos la dirección pedida del radio.

Nótese además:

a) que en todos los convoyes y todas las curvas, la posición de la locomotora permanece viciosa como la que afecta un vagón que corre solo, pero por la tensión considerable en el enganche y la fuerza centrífuga, la rueda interior de atrás puede apartarse algo de los carriles interiores. El deterioro de la pestaña será siempre grande en la primera rueda exterior de la locomotora, y allí habrá también el mayor peligro de una desviación.

b) en curvas de descenso todos los ejes, y en particular los anteriores, van empujando fuertemente las ruedas contra los rieles exteriores.

c) en los trenes de viajeros, y sobre todo en los de grande velocidad, predominan las fuerzas que empujan hacia el lado exterior, y siendo bastante intensas para vencer el rozamiento del resbalo, todas las ruedas correrán frotando contra los carriles exteriores.

§ 22.

Elevación de los carriles exteriores.

Es preciso buscar un remedio suficiente para enmendar la posición viciosa de los carruajes, y en particular para destruir el roce que entre los carriles exteriores y las ruedas delanteras tiende á producirse, y causa tantos gastos y peligros. Este remedio consiste en elevar un poco los carriles exteriores sobre el nivel de los interiores, de manera que el eje anterior y sus ruedas tengan constantemente una tendencia natural á resbalar hácia el centro de la curva, siempre que se aproximen demasiado á los rieles exteriores.

La fuerza centrífuga es la causa del rozamiento entre las ruedas delanteras y carriles exteriores, luego conviene destruir su efecto, dando al eje anterior de cada vagón una posición inclinada hácia el interior de la curva [fig. 9], de manera que el peso P del vagón se componga con la fuerza centrífuga F'

formando una resultando K que pasa por el centro del eje. Si γ es el ángulo de la inclinación que se debe dar al eje, tendremos

$$\text{tang } \gamma = \frac{F}{P}$$

y como

$$F = \frac{P v^2}{g R}$$

tendremos

$$\text{tang } \gamma = \frac{v^2}{g R} \quad (a)$$

Ahora, llamando δ el ángulo comprendido entre el eje y la recta que une las caras superiores de los rieles, y β al formado por esta misma recta y la horizontal, será $\beta = \gamma - \delta$

$$\text{tang } \beta = \frac{\text{tang } \gamma - \text{tang } \delta}{1 + \text{tang } \gamma \text{ tang } \delta} = \text{tang } \gamma - \text{tang } \delta \quad (b)$$

porque $\text{tang } \gamma \text{ tang } \delta$ es cantidad tan pequeña que puede despreciarse; $\text{tang } \delta$ puede hallarse por los radios r' y r'' de los dos círculos de marcha y su distancia MN, siendo así que

$$\text{tang } \delta = \frac{r' - r''}{MN}$$

Como este valor siempre es muy pequeño y aun puede ser igual á cero, cuando los calces de las ruedas estén muy deteriorados, conviene omitir á $\text{tang } \delta$ que está por último término en la ecuación (b), por lo cual se concluye que es con bastante aproximación $\beta = \gamma$, luego también por (a)

$$\text{tang } \beta = \frac{v^2}{g R}$$

Si con h designamos la elevación de los carriles exteriores, tendremos $h = AF$, $\text{tang } \beta$, y como AF es un poco menor que la anchura de vía a , y $\text{tang } \beta$ un poco mayor de lo debido, resultará casi con un valor exacto:

$$\text{elevación } h = \frac{av^2}{gR} \quad [8]$$

Para vías anchas que tienen $a = 1,436$, se puede escribir

$$h = 0,15 \frac{v^2}{R} \quad [9]$$

El efecto de esta elevación de los carriles exteriores es no solamente destruir, en cuanto se puede, el roce que tiende á desarrollarse entre los carriles exteriores y las ruedas delanteras vecinas, sino también producir en la locomotora y los demás vagones del tren una tendencia hácia los puntos más bajos delante de sí, y que constantemente se hallan situados hácia el lado interior de la vía. En verdad, si la velocidad no es demasiada, los carruajes declinan naturalmente de la línea recta, y siguen corriendo por una curva sin frotar contra los rieles exteriores; y aun, en el caso de poca velocidad, todas las ruedas se hallan al lado de los carriles interiores. En este movimiento curvilíneo, los sacudimientos que las ruedas experimentan corriendo en los rieles ayudan mucho á los vagones, los que nunca pueden evitarse, puesto que á favor de estos sacudimientos perpendiculares al plano inclinado A B y más fuertes bajo las ruedas delanteras, los carruajes se levantan constantemente según la línea oblicua K S, y caen en seguida según la recta vertical S P.

La fórmula [9] contiene la velocidad v del tren, y claro está que debe ser la mayor con que se transita, tomando en consideración que los maquinistas hacen frecuentemente correr á la locomotora con mucha mayor prisa de la necesaria.

Conviene, pues aumentar un poco el valor de v , haciéndolo mayor que el que corresponde exactamente al arreglo ordinario de la marcha. Así, obtenemos la tabla siguiente para *vías anchas*:

velocidad debida		velocidad aumentada v :	elevación en centímetros:
por segundos:	por hora:		
18 ^m	65 kiló.	21 ^m	6620 R
16 ^m	57,6 „	19 ^m	5420 R
14 ^m	50,4 „	17 ^m	4340 R
12 ^m	43,2 „	15 ^m	3380 R
10 ^m	36,0 „	13,5 ^m	2730 R
8 ^m	28,8 „	12 ^m	2160 R
6 ^m	21,6 „	10,5 ^m	1650 R

Si para estas velocidades los menores radios de las curvas son

$R=600; 500; 400; 300; 250; 200; 150$ metros
será $h=11; 10,8; 10,8; 11,2; 10,9; 10,8; 11$ centímetros.

luego regularmente, en estos casos, la elevación es 11 cm. Si en las curvas menores la velocidad se hiciese mayor que la que hemos supuesto, resultaría también una elevación más crecida, la cual se debe aumentar también un poco en las curvas de descenso y en las muy largas, que casi siempre suponen un descenso.

Por lo que toca á *la práctica*, la elevación de los carriles exteriores se ha efectuado en los diferentes caminos de hierro de modos muy variados. En la mayor parte de la Alemania se aplicaban, hace poco, valores que eran considerablemente menores que los que se siguen en las fórmulas indicadas. Así, por ejemplo, se tomaba solamente $h=5$ hasta 8 centímetros para curvas de 500 metros de radio, y aun para curvas muy agudas, rara vez se hacía h mayor que 10 cm. La seguridad de marcha era completa. Pero, como el rozamiento al lado interior de los carriles exteriores no se aniquilaba del todo, se comenzó, en los últimos tiempos, á aumentar la elevación según fórmulas que se acercan mucho á las expuestas. Además, parece conveniente elevar de una manera notable los carriles exteriores, puesto que estos sufren, con el tiempo, un asiento más considerable que los interiores.

En los ferrocarriles de Orleans en Francia, se aplica simplemente la fórmula $h = \frac{4500}{R}$ centímetros; pero no se indica la velocidad con que se corre y que sin duda es muy grande. El valor más considerable de h , que se conoce, se emplea en los ferrocarriles entre París y Marsella, haciéndose $h = \frac{7000}{R}$ centímetros; pero es también sumamente grande la velocidad con que allá se transita.

En curvas que se hallan en las cercanías inmediatas de estaciones, no se necesita elevar tanto los carriles exteriores; bastaría tomar la mitad de los valores que se asignan á las curvas del camino libre.

En las “convenciones técnicas alemanas” se dice sobre la elevación de los carriles exteriores solamente lo que sigue:

“En las curvas se deben elevar los carriles exteriores sobre los interiores, tomando en cuenta la velocidad de la marcha, haciéndolo de manera que las pestañas causen el menor roce posible en el canto interior de los rieles.”

Ensanche de la vía en las curvas.

La anchura de vía suele ser más grande en las curvas, para que los vagones tengan suficiente juego entre los carriles. Pero sobre la magnitud de este *ensanche de vía* hay varias opiniones:

1º *Ensanche con respecto á la conicidad de las ruedas.*

Al principio se aumentaba mucho la anchura de vía en las curvas, porque por esta disposición podía, al parecer, surtir mayor efecto la conicidad de las ruedas, conforme á lo que queda dicho en el § 18. Pero, en muchísimos casos, este aumento debería ser enorme; además, el efecto intentado no puede obtenerse con ruedas deterioradas, como lo son después de algún tiempo; finalmente las ruedas de atrás no participan por lo común de la ventaja que se intenta, puesto que tienden más á la hilera interior de los rieles. Una anchura grande de la vía en las curvas favorece la posición torcida de los vehículos, á la que siempre acompaña mayor roce, pérdida de fuerza y peligro de desviación. Luego, parece que el empleo de ruedas cónicas no es razón suficiente para ensanchar la vía en las curvas.

2º *Ensanche con respecto á carruajes de dos ejes.*

En segundo lugar, se puede proponer que las ruedas tengan en las curvas el propio juego que se les concede en trechos rectilíneos. En la (figura 10) sea $CD = a$ la anchura de vía cual corresponde á trechos rectilíneos, y supongamos el carruaje tan ancho que en estos no tenga juego ninguno. Para obtener una posición de las ruedas igualmente estrecha, cuando están en la curva, deberá ser la anchura de vía $= AB$. Por lo cual se consigue que el ensanche ϵ de la vía, sea

$$\epsilon = AB - CD = DB - AC$$

Ahora, es con bastante exactitud

$$DB = \frac{DF^2}{2R} = \frac{[DH + HF]^2}{2R}$$

$$AC = \frac{CE^2}{2R} = \frac{[CG - EG]^2}{2R}$$

luego
$$\epsilon = \frac{2HF \cdot DH}{R}$$

(Continuará).