

APUNTES RELATIVOS

AL TRAZADO DE LOS FERRO-CARRILES.

(Continuacion.)

Ademas de los desgastes las deformaciones son tambien mayores en las barras curvas, verificándose estas principalmente en la parte exterior del carril interior, resultado contrario al del desgaste. Estos efectos son menores en los desmontes ó sitios en que no hiere tan directamente el sol á los carriles, y son menores por consiguiente las dilataciones. En los caminos en que la circulacion se verifica en los dos sentidos, como sucede en los de una via es mas rápido el deterioro.

Las curvas aumentan la resistencia á la tracción; el deterioro y desgaste de las ruedas y mecanismos y el peligro de la rotura de los ejes, efectos que hay que evitar ó disminuir modificando la velocidad al paso por ellas. Así es que en los caminos que se quiera conservar una velocidad grande, las curvas exigirán mayores rádios, circunstancia que tiene lugar en aquellos en que el movimiento de viajeros es considerable. Las resistencias en las curvas son tanto mayores, cuanto menor es el radio y mayor la velocidad del tren. Si las curvas están en pendientes en las cuales sea necesario echar los frenos, esta nueva circunstancia hace aumentar los rozamientos y deterioro de los carriles.

Las resistencias en las curvas calculadas para rádios [hasta 1000 metros, resultan despreciables aun con las velocidades de los trenes de viajeros y aun hasta 500 metros son poco considerables, comparadas con la que se verifica por otras causas, en particular por las pendientes.

Tambien influyen notablemente los pequeños en los movimientos de las máquinas y carruajes. Cuando sea necesario hacer curvas contiguas debe procurarse suavizar en cuanto sea posible la union. Aun cuando una curva de

gran radio esté contigua á otra de pequeño, no por eso se evitan los inconvenientes que pueden tener lugar en esta.

Clases de curvas. El arco de circulo es el que generalmente se emplea para el trazado de las curvas de los caminos de hierro, en vez de emplear arcos de parabola, porque las resistencias son mayores en el vértice de estas últimas, y en razon á la mayor dificultad que habria para colocar las barras. Sin embargo, la adopcion de curvas parabólicas puede tener ventajas, y en confirmacion de esto extractaremos lo que la comision nombrada en Francia en 1855 para informar sobre el sistema Arnoux dice sobre este objeto. (Anales página 145.)

«Con motivo de hablar de las curvas de pequeño radio debemos llamar la atencion, sobre la necesidad de renunciar en su trazado al empleo de arcos de circulo. En efecto, cuando se pasa de una alineacion recta á un arco de circulo de 60 y aun de 100 metros de radio, el paso repentino de la direccion rectilínea á la curva, produce un sacudimiento incómodo para los viajeros y probablemente perjudicial para el material. Para evitarse este efecto seria necesario unir los alineamientos rectos á las curvas, por arcos de parabola tangentes ó hacer curvas parabólicas completas, con tal de no esceder del minimo los rádios de curvatura.»

En un artículo de Mr. Jouselin (Ingenieur, año 1855), analizan las resistencias que tendrán lugar si se emplean curvas parabólicas y demuestra por el cálculo que, la fuerza centrifuga va aumentando desde el punto de tangencia hasta el vértice de la parabola; á partir de este punto vuelve á pasar por los mismos valores. Para que no haya peligro en el paso de esta clase de curvas, es necesario que el maquinista pueda modificar la velocidad progresivamente.

Sin embargo de esto, podria hacerse que la velocidad en las curvas desde que se entre en ellas sea la conveniente para no esponer á descarrilamientos.

Explotacion. Ya se ha dicho que en las Madrid 1.º de Octubre de 1859.

curvas de pequeño radio es preciso disminuir la velocidad. Además de ser esto necesario para causar menos deterioro al material, lo es igualmente para evitar los descarrilamientos que podía ocasionar la fuerza centrífuga adquirida por el tren, que tiende á dirigirle hácia la parte exterior de la curva. Esta fuerza crece en razon directa del cuadro de la velocidad é inversa del radio de la curva.

Si en las curvas de pequeño radio se entra con velocidad excesiva, resulta un movimiento brusco que puede hacer pierdan la estabilidad los viajeros, y este efecto seria tanto mayor si hubiese varias curvas contiguas en sentidos contrarios. En este último caso será tambien mas fácil un descarrilamiento, si llevan gran velocidad por la tendencia de los trenes á seguir la tangente de la curva al salir de ella.

Cuando las curvas son muy repetidas como en un pais montañoso en donde es difícil que el maquinista alcance á ver gran distancia, pueden resultar graves inconvenientes para la explotación, cuando el camino es de una via y son necesarias muchas precauciones para que no haya choques.

Suele prescribirse que al paso de las curvas de pequeño radio, se reduzca á la mitad la velocidad normal que lleva el tren en las partes rectas; pero esto no satisface, pues cuando las curvas esten situadas en pendiente, por poco fuerte que esta sea, si está en bajada habrá necesidad de modificar mas aquella que en camino horizontal. Para que no se verifique un descarrilamiento en la curva por efecto de la fuerza centrífuga, es necesario que el rozamiento de la llanta con el carril equilibre á esta fuerza ó la esceda; esta circunstancia se calcula por Olivier (causas del descarrilamiento 1845.)

Por las fórmulas indicadas por Olivier se calculará en un trazado la velocidad que corresponde á cada curva; y al verificarlo, basta hacerlo en las de gran radio por ejemplo desde 500 metros, solo de 20 en 20 ó de 25 en 25 metros, pues son de poca entidad las diferencias que resultan; sin embargo que cuan-

do sean muy pequeños los radios habrá que hacerlo para cada una separadamente ó con diferencias solo de hasta 4 ó 5 metros. Como la disminucion de velocidad tiene lugar, no solo en la curva, sino tambien á cierta distancia á la entrada y salida de esta, en el primer caso para ir amortiguándola gradualmente, y en el segundo hasta que vuelva á adquirir la velocidad normal, se pueden tomar unos 50 metros á uno y otro lado para añadir á la longitud de la curva y calcular el tiempo que se tardará en pasarla. Como se calcula tambien el que corresponderia con la velocidad normal se obtendrá la diferencia ó retardos que se esperimente por causa de estas.

Las curvas tienen mas inconvenientes cuando estan en pendientes que cuando lo estan en camino horizontal. En efecto, en este caso si se dejase adquirir al tren mucha velocidad, habria mas peligro de descarrilar; del mismo modo si se desprendiese algun carruaje de la parte posterior de un tren que suba la pendiente con la velocidad adquirida al llegar á las curvas ó salir de ellas les haria salir probablemente fuera de la vía.

Las curvas á las entradas de los túneles, en particular en los caminos de una sola via, son peligrosas en razon á que el maquinista no puede ver á cierta distancia si hay algun obstáculo ó viene un tren; en estos casos hay que redoblar las precauciones y modificar mucho la velocidad. En la parte interior de los túneles suele haber necesidad de hacer curvas, sea por evitar algun terreno difícil de perforar, ó por disminuir la profundidad de los pozos etc.: esta circunstancia es perjudicial para la seguridad de la explotación.

El Ingeniero M. Bordas (anales de puentes y calzadas 1858) ha sometido al cálculo las resistencias, que experimentan las ruedas en las curvas buscando las expresiones algebraicas de las resistencias, calculando las presiones en los puntos de contacto y estableciendo la fórmula general del esfuerzo de traccion.

Deduce de los cálculos lo siguiente: Que para cada vehículo de ejes paralelos hay un límite para el radio de curvatura, que antes de

llegar á él el vehiculo, apoya lateralmente por sus extremos sobre la barra exterior, y pasado este toma una posicion intermedia apoyándose siempre por delante contra el flanco del carril y aproximándose por detras cada vez mas á la barra interior. Este limite depende del número de ruedas del vehiculo, de la disposicion de sus diversas partes y de la velocidad, y sobre todo del valor del coeficiente del rozamiento. Tambien deduce que á pesar de que la fuerza de traccion disminuye siempre á medida que el radio aumenta; sin embargo á partir del limite en el cual el vehiculo cesa de apoyarse contra la barra exterior por sus extremos, la disminucion es menos rápida, de tal suerte que habrá menor ventaja que podria creerse de emplear grandes radios, sobre todo cuando no se puede obtenerlas sin grandes gastos. El esfuerzo de traccion varía con la fuerza centrifuga conforme á las ideas admitidas y en una relacion menor que esta fuerza. La accion de las resistencias depende tambien para un vehiculo de ejes paralelos de la inclinacion que se dé al reborde. Si se quiere determinar esta inclinacion haciendo el esfuerzo de traccion el menor posible, el valor que se obtenga excederá generalmente el limite que permite dar al reborde. Si de dos vehiculos del mismo peso y entre cuyos ejes hay la misma distancia, el uno tiene 6 ruedas y el otro 4, el primero ofrecerá menos resistencia que el segundo. El trabajo resistente absorbido al recorrer un arco no depende solo del ángulo que subtende, sino que varía tambien con el radio de las curvas en sentido inverso; de suerte que para dos arcos distintos que unan las mismas alineaciones, la diferencia en el trabajo total de resistencias es mayor que la que resulta del mayor ó menor recorrido en linea recta.

Al tratarse de los limites de curvatura en el tratado de Caminos de hierro de M. Polonceau, indica que en curvas de 150 metros de radio con máquinas de 6 ruedas se ha hecho un gran esfuerzo á fin de no interrumpir el servicio en el camino de hierro de Paris á Strasburgo y no se marchaba sino lentamente y las máquinas experimentaban una fatiga excesiva; esta

curva estaba en pendiente de 0,006. Que en la proximidad de los pueblos ó en los encuentros con carreteras en que se necesita disminuir la velocidad pueden tener menos radio. En los caminos Belgas hay frecuentemente curvas de 200 metros y las antiguas máquinas de Stephenson de 6 ruedas muy comunes en este pais pasan con facilidad; pero con las nuevas máquinas en las cuales un eje está colocado detras de la caja de juego, conviene dar á las curvas 250 á 500 metros al menos.

Cuando se emplean caballerias en vez de locomotoras, ó estas á pequeña velocidad como sucede cuando son caminos mas bien para mercancías que para viajeros, puede admitirse en general curvas de 200 á 500 metros de radio.

Para poder resolver las cuestiones relativas á la resistencia en las curvas, era necesario tener datos experimentales para apreciar la resistencia comparativa en curvas de distintos radios y con diferentes velocidades con un material dado; pero estos datos no existen sino para algun caso particular.

Medios de atenuar los efectos de las curvas.

La firmeza de las ruedas en los ejes es necesaria para mantener en la via los vehiculos que marchan por ella. Los inconvenientes que resultan de esto son de que no pueden converger segun el radio de la curva tendiendo á subir sobre el carril, los ejes se pueden romper y los rozamientos y desgastes son grandes; estos inconvenientes crecen con la velocidad.

Debiendo correr las ruedas caminos desiguales en las curvas en el mismo tiempo, si fueran del mismo diámetro resbalaria aumentando las resistencias y torsion del eje. Para evitar esto se da la comodidad á la llanta y el juego suficientes, en general para curvas de 200^m de radio en los carruajes y de 200 á 350 en las locomotoras. La diferencia de diámetros que así resulta dá lugar á la fuerza centrífuga que contraresta á la centrifuga que unida á la resistencia, al resvalamiento trasversal de la rueda en el carril y á la elevacion que se dá al carril exterior, puede contrarrestar la

fuerza centrífuga en curvas cuyo radio sea menor que el mínimo indicado. Sin embargo basta un pequeño asiento en el terraplen en que está situada la curva para neutralizar estos efectos.

Esta conicidad de las ruedas y la elevación del carril produce un movimiento de lazo, por lo cual no se puede aumentar mucho la conicidad de la llanta ó el juego de las ruedas; por estas causas ó se aumenta el radio de las curvas ó mejor se disminuye la velocidad. Para evitar estos dos inconvenientes en el trazado y explotación se han imaginado disposiciones más ó menos ingeniosas, de modo que se pudiese marchar sin disminución de velocidad para curvas de pequeño radio. Para esto era necesario que las ruedas grandes pudieran tomar diámetros diferentes para andar en el mismo tiempo espacios iguales y dejar á los ejes libertad de apartarse del paralelismo para converger al centro de las curvas.

El primer objeto se ha tratado de conseguir por tres medios: unos han aumentado el diámetro de la rueda exterior haciéndola rodar por su reborde. Otros han adoptado ruedas independientes pudiendo girar en los ejes ó con ejes diferentes para cada rueda.

La convergencia eventual de los ejes se ha verificado por una clavija, bien sobre cada eje ó por varios juegos compuesto cada uno de dos ejes próximos; para arreglar la convergencia se ha hecho de diferentes modos, sea dirigiendo el primer eje por coronas ó por un timón. Otros han colocado un solo eje á cada carruaje, y estos se sostienen por un *bastidor* apoyándose en el carruaje próximo.

Sistema Laignel. Este solo resolvió el inconveniente de la desigualdad de velocidad de las ruedas, no el del paralelismo de ejes; deja las ruedas gemelas fijas á un mismo eje y adapta lateralmente á la cara interior del carril exterior un carril plano sobre el cual sube el reborde de la rueda suavemente al entrar en la curva.

La relación para establecer la altura del reborde, es la de una línea proporcional entre el radio de la rueda, el de la curva y el ancho

de la vía; pero Laignel ha dado mayor altura que esta, lo que hace producir un exceso de fuerza centrípeta para mantener en la vía el carruaje, y resulta un resbalamiento que es el que se trata de evitar.

No parece conseguirse con este sistema el poderse marchar por curvas de pequeño radio con grandes velocidades, lo cual solo puede obtenerse con la convergencia de los ejes; además sería necesario en las líneas en que se quisieran grandes velocidades, conservando la conicidad para las curvas de mucho radio, dar uno mismo á todas por tenerse que pasar con el mismo reborde.

Bineau considera el sistema de Laignel útil para caminos de pequeñas velocidades, de explotación de materiales que exijan pequeños radios y en las líneas de gran velocidad para las estaciones y vías de servicio. En el trazado de las líneas de gran velocidad es poco aplicable el sistema por la pequeña altura que hay que dar á los rebordes y sería inferior al sistema de conicidad de las ruedas.

Sistema de Vilback. Solo se han hecho algunos experimentos de este sistema, cuyo objeto era remediar los dos inconvenientes ya citados de la desigualdad de velocidad de ruedas y paralelismo de ejes.

Lo primero lo evita por ejes quebrados en vez del sistema de conicidad, ó el de Laignel de desigualdad de diámetro, ó el de Arnaux de libertad de ruedas sobre el eje; consiste en poner á cada rueda medio eje independiente fijo á ella como en el sistema ordinario. Consigue la convergencia de los ejes reuniendo, por su falso eje móvil, alrededor de una clavija los dos semiejes de cada par de ruedas. Los dos ejes de un mismo carruaje, llevan cada uno hacia sus extremos una varilla horizontal con barra dentada, reuniéndose las dos barras dentadas por un piñón cuyo eje prolongado al exterior del carruaje termina en un manubrio. Por medio de este se hace andar cantidades iguales y en sentido contrario las dos barras, y por consiguiente convergen uno hacia otro los dos falsos ejes y los semiejes independientes.

Para dirigir la convergencia en las curvas colocaba Vilback en la parte exterior de la vía y á la entrada y salida de estas curvas una corredera fija por la cual tenia que pasar el manubrio, recibiendo la posición conveniente y manteniéndose en ella por medio de una muesca.

Los pocos experimentos hechos no permiten opinar decisivamente; sin embargo, Bineau dice era de temer que los manubrios produjesen disminución de velocidades, choques, desarreglos, y además complicaciones; y que si bien presenta ventajas la sijeza de estos ejes en cada posición que reciba, tiene el inconveniente de dejar á las ruedas independientes y de que un obstáculo que encuentre una de ellas, la haga parar y la otra rueda continuando su movimiento se verifique un giro en el carruaje y descarrile. En los cambios y cruzamientos de vía presenta más inconvenientes este sistema.

Sistema de Chesneaux y Verrier. También este sistema solo ha quedado en proyecto. Para la convergencia los dos ejes de un carruaje eran giratorios alrededor de una clavija. Estos ejes estaban unidos por palancas acodadas ó por varillas y correderas. La convergencia se arreglaba por medio de coronas y un carril director colocado á la entrada de la curva. Dice Bineau que el aparato directo del movimiento propuesto era ineficaz, siendo necesario modificar el sistema para que pudiera dar resultados convenientes.

Sistema americano. Las locomotras de 6 á 8 ruedas, las 4 de delante pequeñas y próximas, forman un ante-tren giratorio alrededor de una clavija. Los carruajes también suelen tener esta disposición. Serían insuficientes estos medios para grandes velocidades y numerosas curvas de pequeño radio.

Este sistema es poco á propósito para la

tracción en las pendientes, pues no permite la completa adherencia de las ruedas. Los ejes se destruyen fácilmente por las oscilaciones que resultan por efecto de la movilidad del juego de ruedas; resultando roturas frecuentes de aquellos, lo cual no tiene lugar en los casos comunes; también están más sujetas á descarrilar, lo cual puede traer peores consecuencias en este caso, por la facilidad de que se rompa la clavija de giro y las cadenas, y puede hacer descarrilen los carruajes á que están unidos los primeros, así es que no se tiene confianza en este sistema.

Juego de los ejes. También se ensayó hacer los ejes con un juego suficiente para converger; pero esto tendría inconvenientes en los caminos de gran velocidad.

Carruajes de un eje. También se han ideado carruajes de un solo juego de ruedas, sosteniéndose mutuamente estos carruajes por bastidores móviles en correderas.

Aunque todos estos sistemas, en apariencia se aplican á curvas de pequeño como de gran radio, no es así, porque las resistencias adicionales que dejan subsistir en las curvas, la esposición á salir de la vía que depende de la fuerza centrífuga y los peligros de que el mecanismo directo de la convergencia se desarregla, crecen á medida que disminuye el radio de la curva.

P. C. ESPINOSA.

(Se continuará.)

El Ingeniero jefe de la división de los ferrocarriles de Barcelona D. Carlos de Aguado nos ha remitido los interesantes estados que publicamos á continuación, relativos á las experiencias hechas en los puentes del ferrocarril de Barcelona á Zaragoza.