

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

MADRID, 15 DE JUNIO DE 1885

4.^a Série.

Tomo 3.^o

Número 11.

AÑO XXXIII DE LA PUBLICACION

SUMARIO.

Ferro-carriles de vía ancha y de vía estrecha (continuacion), por P. de Alzola.—Enclavamientos entre las señales, agujas y otros aparatos de la vía (conclusion), por E. Maristany y Gibert.—Medios de evitar la aglomeracion de mercancías en las grandes estaciones de los ferro-carriles españoles, por E. Maristany y Gibert.

FERRO-CARRILES DE VIA ANCHA Y DE VIA ESTRECHA

CAPÍTULO IV.

CONDICIONES DE TRAZADO Y EXPLOTACION DE LOS CAMINOS DE AMBAS LATITUDES.

(Continuacion.)

XVII.

22. *Peralte en las curvas.*—Hé aquí un punto esencialísimo para que pueda juzgarse de las condiciones de explotacion de los caminos angostos, y al que los tratadistas de la materia no han consagrado, á mientender, la importancia que merece.

Sabido es, que para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga, es preciso elevar el carril exterior de las curvas, calculándose el peralte por la fórmula

$$p = \frac{2av^2}{gr}$$

en que g es la gravedad y las demás letras tienen la significacion del número 20; pero habiendo probado la experiencia que sus resultados eran insuficientes, se substituyó para la vía de 1,^m45 por la expresion empírica

$$p = \frac{v}{r}$$

que para las velocidades que aumenten desde 15 kilómetros por hora dá los cocientes que siguen:

RADIOS. — Metros.	15 ^k	20 ^k	25 ^k	30 ^k	35 ^k	40 ^k	45 ^k	50 ^k	60 ^k
100	0,150	0,200	0,250		»	»	»	»	»
150	0,100	0,133	0,167	0,200	»	»	»	»	»
175	0,086	0,114	0,143	0,172	0,200	»	»	»	»
200	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	»	»	»
250	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200	»
300	0,050	0,066	0,083	0,100	0,116	0,133	0,150	0,166	0,200
350	0,043	0,057	0,074	0,086	0,100	0,114	0,128	0,143	0,171
400	0,037	0,050	0,062	0,075	0,087	0,100	0,112	0,125	0,150
500	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100	0,120

si bien hay que advertir que en la práctica se aumentan algo las velocidades de marcha respecto de los peraltes correspondientes del cuadro precedente, adoptándose en España generalmente los mismos á pesar de ser la vía de 1,167.

Ahora bien; atendiendo á que conviene que el peralte máximo sea de 0,15 para la latitud normal, á fin de que ni la inclinacion del carruaje pase del 10 por 100, ni se fatigue demasiado el carril interior, se deduce del exámen de los resultados obtenidos que, con rádios de 100^m se puede circular con velocidades de 15 á 18^k por hora; con los de 150^m á las de 22 á 25^k; con los de 175^m á las de 26 á 29; con los de 200^m á la de 30 á 34^k; con los de 250^m á la de 37 á 42^k; con los de 300^m á la de 45 á 50^k y sucesivamente hasta 60^k para rádios de 400^m.

Para pasar del peralte correspondiente á la vía 2a á la 2a' tendremos

$$p' = \frac{a'}{a} \times \frac{v'}{r'}$$

de manera que conservando la misma velocidad é iguales rádios en dos caminos de distinta anchura, los desniveles p' y p estarán en la relacion

$$\frac{p'}{p} = \frac{a'}{a}$$

ó lo que es lo mismo

$$\frac{p'}{a'} = \frac{p}{a}$$

que demuestra que la pendiente lateral de las ruedas será la misma, y que por consiguiente, las vías estarán en igualdad de condiciones, tanto bajo el punto de vista del declive como de la fatiga del carril interior de la curva, *cualquiera que sea la anchura entre los carriles*, siempre que se conserven invariables el radio y la velocidad; pero que si aquél decrece, como

sucede en general en los caminos angostos, será forzosamente á expensas de una marcha más lenta ó de un peralte más violento.

Veamos al efecto los valores que se deducen para p' con la vía de 1,00 entre carriles:

$$p' = \frac{1,00}{1,45} \times \frac{v'}{r'} = 0,69 \times \frac{v'}{r'}$$

R A D I O S . — Metros.	Velocidad de 15 kilómetros.	20k	25k	30k	40k	50k
60	0,172	0,230	»	»	»	»
80	0,129	0,172	0,212	»	»	»
100	0,103	0,138	0,172	0,207	»	»
120	0,086	0,115	0,144	0,172	0,230	»
150	0,069	0,092	0,115	0,138	0,184	»
200	0,052	0,069	0,086	0,103	0,138	0,172
250	0,041	0,055	0,069	0,083	0,110	0,138
300	0,034	0,045	0,057	0,069	0,080	0,092

Si para la vía continental se admite como peralte máximo el de 0,15, corresponderá para la de 1,00

$$\frac{0,15 \times 1,00}{1,45} = 0,103;$$

de manera que en condiciones análogas sólo se podrá adoptar como radio mínimo el de 100^m á la velocidad de 15 á 17 kilómetros, ó sea exactamente lo mismo que para la vía ancha, no adelantándose absolutamente nada bajo este concepto con estrechar el camino. Hay además otra circunstancia, que es en general desfavorable para los angostos, y que consiste, en que á veces se reducen demasiado ó se suprimen las alineaciones rectas comprendidas entre curvas de sentido contrario, y como la rueda exterior tiene que ganar el peralte al entrar en la tangente, es indispensable que la parte recta no disminuya en las líneas estrechas respecto de las normales, sino en la proporción de las latitudes para tener así el desarrollo suficiente al objeto indicado.

A lo que antecede se contestará que la práctica ha demostrado que se pueden reducir los radios hasta 60^m en los caminos de 1,00 y aún más, pero veamos cómo se consigue este resultado. Por ejemplo, en el de Er-gastiria dedujo Mr. Ledoux el peralte de 0,222 para las curvas de dicho radio; pero como resultaban graves inconvenientes para la marcha de la máquina por el gran desnivel de las ruedas, hubo que reducirlo á 0,16. En cuanto á la velocidad era de 10 á 15 kilómetros por hora en la subida y

de 20 en la bajada, que repito me parece algo excesiva para un trazado tan tortuoso; pero de todos modos, calcúlese el balance que han de llevar estos wagones para invertir su inclinacion de 16 por 100 de derecha á izquierda en cada contra-curva, en el intervalo de muy pocos segundos, y dígase si sucede nada parecido á esto en los caminos normales.

Los ferro-carriles mineros de la ría de Bilbao tienen, segun consigné en el núm. 14, curvas minimas de 120^m de rádio en la Orconera con vía de 1,^m00 y peralte de 0,^m10, y ha habido que moderar la marcha á 13,50 kilómetros en la bajada. En la línea de Galdames, de 1,^m14 de latitud, las curvas descienden hasta 80^m, siendo el peralte de 0,12 y la velocidad de 15 kilómetros por hora, y aún ha sido menester colocar contra-carriles en las más cerradas para evitar los descarrilamientos, que eran frecuentes al principio de la explotacion. En los de Huelva dijimos tambien que los rádios descienden hasta 145 metros, y la marcha es de 18,50 kilómetros.

Pasando ahora á los ferro-carriles estrechos destinados al transporte de viajeros, recordaremos que los de Silla á Cullera y de las Baleares tienen unos trazados muy lujosos. En el de Bilbao á Durango no descienden en general los rádios de 200^m, pero hay algunas curvas de 150^m con 0,^m11 de peralte y dos de 90^m á la entrada de la estacion de Bilbao con 0,^m14.

El de Hermes á Beaumont tiene tambien curvas minimas de 300^m, y sólo en las avenidas de algunas estaciones descienden á 100^m los rádios, y con peralte de 0,^m12. Tambien son muy ámplios los rádios, segun dijimos en el capítulo 2.^o, en los caminos estrechos de Noruega y Bélgica. En la Argelia y la isla de Córcega no descienden de 150^m, y de 140^m en Irlanda. En los Estados-Unidos la marcha de los trenes de viajeros de los caminos estrechos varía desde 13 á 24 kilómetros, llegando por excepcion á 32 en algunas zonas en que el trazado es muy bueno; de manera que en general el servicio que prestan estos caminos, aunque podrá ser muy suficiente en cuanto á rapidez para las regiones que sirven, no puede compararse con el de las vías normales, y sobre todo, su defecto capital para la marcha con alguna velocidad está en el peralte, como lo acabamos de demostrar.

23. *Rádios minimos.*—Tenemos ya los elementos necesarios para abordar la discusion de este punto capital del trazado de las vías férreas económicas. Hemos visto que la flexibilidad depende de las dimensiones del rectángulo, que forma la base de sustentacion de los vehículos, siendo indispensable, para que los rádios puedan disminuir proporcionalmente á la latitud de los caminos, que la separacion de los ejes se reduzca igualmente.

Ahora bien; Mr. Sartiaux en su artículo mencionado afirma «que la experiencia adquirida sobre varias líneas estrechas ha demostrado, tomando por ejemplo las cifras deducidas en el camino de Hermes á Beaumont,

»que con carruajes del tipo comun y wagones en que la separacion de los ejes se reduce á 2,^m50 y 2,^m20, etc., la resistencia á la circulacion del material móvil podia medirse por la equivalencia de las curvas de 400 y »300^m de la vía de 1,^m45 á las de 200 y 100^m en la de 1,^m00»; y por cierto que tomó como tipo de la separacion de los ejes en la vía ordinaria el de 3,^m50.

Repito que considero erróneo este aserto, y para probar que no hay semejante paridad entre unos y otros rádios, basta fijarse en que segun la descripcion que hizo Mr. Dupriez ⁽¹⁾ del referido camino estrecho, la velocidad, que era de 40 kilómetros para los rádios de 300^m y mayores, descendía á 20 kilómetros en las de 100^m, siendo los peraltes respectivos de 0,^m06 y 0,^m12, ó sean próximamente 0,^m02 más bajos que los deducidos por la fórmula empirica y consignados en el cuadro, que como llevamos dicho, dá resultados algo inferiores á las velocidades que se adoptan en la práctica.

En la vía normal se puede marchar á razon de 40 y 50 kilómetros por hora por aquéllas curvas sin dificultad ninguna, correspondiendo 0,^m13 de elevacion del carril exterior ó sean 0,^m11, disminuyéndolo en la misma proporcion que anteriormente; es decir, que en este caso, la pendiente del carruaje será de 0,^m09 y en los rádios de 100^m de la vía de 1,^m00 de 0,12, y no se comprende cómo Mr. Sartiaux establece la equivalencia entre los rádios respectivos de 300^m y 100^m, porque no puede haberla desde el momento en que se corre con la vía ordinaria el doble y se lleva el asiento mucho ménos inclinado. Por lo tanto, lo que habrá querido decir es, que se pasa tambien por las curvas mencionadas de la vía angosta; pero como esto se hace en condiciones muy diferentes, no cabe admitir semejante paralelo entre dos cosas tan heterogéneas.

Hay además que tener presente, que con la disminucion de los rádios se aumenta por regla general el número de alineaciones en las vías angostas. Supongamos, en efecto, que se trata de un terreno accidentado, y que las rectas de la línea sumen la mitad del desarrollo, adoptándose 100 metros para las alineaciones más cortas de la vía de 1,^m45 y proporcionalmente 70 metros para el camino angosto. Si el trazado se ciñe al terreno para aprovechar hasta el límite aquellas condiciones, en un kilómetro entrarán cinco rectas de á 100^m y cinco curvas de igual longitud, y en la vía angosta siete de cada clase, de modo que el número de balances debido al peralte será respectivamente de 10 en el camino ancho y 14 en el estrecho, y como además son mucho más fuertes estos últimos, han de resultar forzo-

(1) *Revue generale*, Mai, 1884.

samente una série de sacudidas violentas para los viajeros, á no ser que se adopten velocidades moderadas y rádios  mpios.

Respecto de este punto, la Comision nombrada por el *Comité de la explotacion técnica* para el estudio del material de los ferro-carriles de Córcega, que son de 1,^m00, informó que en la v  general deb  ser de 200   300 metros el r dio mínimo, no descendiendo de 150 metros, y adoptando para viajeros el material americano.

Para establecer ahora la equivalencia de rádios de la v  española con la de 1,^m00, recordemos que, segun digimos en el número precedente, la Asociacion alemana consign  que se puede conseguir 50^m de disminucion en aquéllos aproximando 0,^m40 los ejes de los vehículos partiendo de 3,^m00 de separacion para 250^m hasta 5,^m00 para 500^m, y es lógico suponer que se mantenga la misma proporecion descendiendo otros dos grados de la escala, ó sea para 2,^m60 y 2,^m20 de la v  de 1,^m45; y á fin de hallar los datos equivalentes de los caminos españoles y de 1,^m00, los multiplicaremos por las relaciones

$$\frac{1,67}{1,45} = 1,15 \quad \text{y} \quad \frac{1,00}{1,45} = 0,69$$

formando el siguiente cuadro:

VIA DE 1, ^m 45		VIA DE 1, ^m 67		VIA DE 1, ^m 00	
Separacion de los ejes. — Metros.	RADIOS. — Metros.	Separacion de los ejes. — Metros.	RADIOS. — Metros.	Separacion de los ejes. — Metros.	RADIOS. — Metros.
2,20	150	2,53	172	1,52	103
2,60	200	2,99	230	1,79	138
3,00	250	3,45	287	2,07	172
3,40	300	3,91	345	2,34	207
3,80	350	4,37	402	2,62	241
4,20	400	4,83	460	3,20	276

No quiere esto decir que atribuyamos una exactitud matemática al precedente estado; pero hay varias pruebas en la práctica de que se aproxima bastante   la verdad. En efecto, comprueba en primer lugar, que la v  española tiene mayor flexibilidad que la francesa, porque siendo aquí de 3,^m30 la separacion media de los ejes y de 3,^m80 all , corresponden los rádios de 268^m y 350^m. Si la distancia es, por él contrario, pequeña, como sucede con el material americano, los datos consignados en los números 16 y 17 comprueban la proporcionalidad de los rádios mínimos con las anchuras respectivas, y  un en la Argelia se acercan bastante, segun las equivalencias que cita Mr. Fousset,   saber:

NACIONES.	VIA ANCHA. Metros.	VIA ESTRECHA. Metros.
Estados-Unidos.	200	125
	100	63
Brasil.	200	120
	180	100
Argelia.	300	175
	250	150

En la práctica se violenta algo la separacion de los ejes, especialmente en los caminos angostos, con el objeto de dar mayor capacidad á los vehículos; pero esto se consigue á expensas de la velocidad. Cuando proyecté el ferro-carril minero de la Orconera adopté 120^m de radio mínimo, suponiendo que la distancia sería de 1,^m80 con arreglo á los primeros diseños de wagones, pero más adelante se adoptó el modelo de las figuras 34 al 37, en que se aumentó á 2,^m12 y aún á 2,^m44 para los de balastre (figuras 38 y 39), pero ya consigné que se marcha con una velocidad moderada, lo cual no ofrece inconveniente alguno para el tráfico á que se destina.

En resumen, de cuanto llevamos expuesto sobre el asunto, deducimos que con el material rígido y usual de las líneas españolas se pueden adoptar en definitiva los radios que se expresan á continuacion con las velocidades correspondientes:

VIA DE 1, ^m 67		VIA DE 1, ^m 00	
Radios. Metros.	Velocidades. Kilómetros.	Radios. Metros.	Velocidades. Kilómetros.
400	55	300	40
300	48	150	30
250	38	100	20
180	30	70	15

advirtiendo que esto se puede conseguir para la vía normal manteniendo 3,^m00 de separacion de ejes; pero si ésta se redujese adoptando los dobles trucks, se podría dar á la misma toda la flexibilidad apetecible. Es preciso además tener muy presente que el declive de los coches debido al peralte es independiente de la anchura de la vía, constituyendo á mi

entender el mayor de los inconvenientes de los ferro-carriles angostos destinados al servicio de viajeros, y no me explico bastante el escaso partido que se ha sacado todavía en algunas naciones de los ferro-carriles normales económicos, para lo cual bastaría reducir la distancia de los ejes á 2,^m60 ó 2,^m70 para el servicio de la gran velocidad; y hay que advertir, que entre un carruaje de éstos en la vía normal y otro de igual separacion para la de un metro habría poca diferencia de flexibilidad, mientras que el coche más ancho tendría mayor estabilidad y un movimiento más cómodo; de manera, que en general son dudosas las ventajas de los ferro carriles estrechos, á no ser como caminos industriales ó mineros, ó cuando se quiere construirlos con una extremada economía, en cuyo caso se deben reducir los radios si es preciso hasta 60 ú 80^m, con lo cual no se puede aspirar más que á una marcha de 15 kilómetros y á instalaciones extremadamente modestas; pero creo que esta clase de caminos de hierro sólo deben considerarse como tranvías de vapor, siendo este el nombre que en realidad les corresponde.

Hay otro ejemplo muy notable de un camino de hierro de los de mayor circulacion del globo, con curvas muy cerradas, que es el Metropolitano de Lóndres, en el que hay muchos radios de 200^m y otros que descienden hasta 120^m. Es de doble vía de 1,^m50, circulando los trenes de carruajes de ocho ruedas con toda seguridad, á razon de 24 kilómetros por hora. El peralte se ha reducido bastante, de lo que corresponde ordinariamente, con el empleo de contra-carriles en las curvas de 200^m é inferiores.

Por último, entre la série de folletos que se han publicado en estos últimos años abogando por la vía estrecha, no ha dejado de apelarse al análisis para establecer las equivalencias de los radios, como por ejemplo, en el redactado por Mr. John Moschell⁽¹⁾ por medio de un cálculo completamente sofisticado, (como me sería fácil demostrar), para deducir que la curva de 300^m de la vía de 1,^m45 corresponde á la de 110^m en la de 1,^m00; y la de 200 á la de 73^m.

(Se continuará.)

P. DE ALZOLA.

ENCLAVAMIENTOS

ENTRE LAS SEÑALES, AGUJAS Y OTROS APARATOS DE LA VÍA.

(Conclusion.)

5.^a Llamar la atención de las Compañías acerca de la utilidad de proteger en ciertos casos las vías principales por medio de vías de seguridad,

(1) Etude comparative sur la voie étroite et la voie large. Zurich, 1874.