TOMO V 15 de Octubre Núm. 33

ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

ENSAYO

SOBRE EL ESTUDIO TEÓRICO Y PRÁCTICO DE LOS CAMBIOS DE VÍAS

(Conclusión)

El riel BD y la aguja DC, hacen entre sí el ángulo α ya conocido, y como las curvas teóricas son tangentes en A, tenemos

$$BD = DC = DA$$

pero el triangulo A_1DO da

$$DA_1 = R \operatorname{tang} \tfrac{1}{2} \gamma$$

siendo γ el ángulo al centro de la curva de la vía principal correspondiente al largo comprendido entre el principio teórico y el taco de las agujas. Lo mismo el triángulo A_1DO' da

$$DA_1 = r \operatorname{tang} \frac{\alpha + \gamma}{2}$$

de donde

$$R \operatorname{tang} \frac{r}{2} = r \operatorname{tang} \frac{\alpha + r}{2}$$

Como son muy chicos los ángulos γ y α, podemos escribir

$$R\alpha = r\ (\alpha + \gamma)$$

de donde

$$\frac{R}{\alpha+\gamma}=\frac{r}{\gamma}=\frac{R-r}{\alpha}$$

y en fin

$$\gamma=\frac{r\alpha}{R+r} \tag{17}$$

Chevanchement de las puntas de las agujas.—Notemos que γ corresponde al radio medio de la curva. Pero para los radios interiores y exteriores, es decir para cada riel, tendremos en realidad

$$\gamma_1=\frac{(r+a)_\alpha}{R-r}$$

$$\gamma_2=\frac{(r-a)}{R-r}\,\alpha$$

de donde

$$\gamma_1>\gamma>\gamma_2$$

lo que muestra que las pruebas de las puntas de las agujas no estarían según la misma normal OD á la curva. Esta diferencia se llama el chevanchement de las puntas de las agujas. Una de ella estará más cerca del sapo, y la otra más lejos.

Esta diferencia, que es muy chica, y que va decreciendo cuando aumenta el radio se hace desaparecer fácilmente con el juego de los rieles, acercando los del interior y alejando los del exterior, sin que se note nada á la vista.

Pero si se quisiera hacer un cambio de radio muy chico, 50^m. por ejemplo, sería necesario cortar los rieles á propósito, y aún hacer agujas especiales.

La cantidad A_1D será entonces lo que conviene quitar al largo teórico para conseguir el largo práctico.

Notemos que en realidad es AM lo que debe quitarse. Pero la diferencia entre la curva y la tangente es infinitamente chico de segundo orden.

Para calcular $A_1 D$, tenemos A

$$A_1 D = R \text{ tang.} \frac{\gamma}{2}$$

ó

$$A_1 D = \frac{R\gamma}{2}$$

de donde

$$A_1 D = \frac{R\,r}{(R-r)}\ \frac{\alpha}{2}$$

Las ecuaciones logarítmicas de las curvaturas dan por otro lado

$$\frac{1}{R} \pm \frac{1}{R_1} = \frac{1}{r}$$

de donde

$$R_1 = \frac{Rr}{R \pm r}$$

educiendo

$$A_1 D = \frac{R_1 \alpha}{2} \qquad (18)$$

El término correctivo es entonces constante, cualquiera que sea el radio.

Aplicando la fórmula (18) al caso que nos ocupamos, teniendo

$$R_1 = 216.49 \qquad \alpha = 2.0258$$

correspondiendo α á agujas con rieles de 30 kilos por metro, tendremos:

$$A_1 D = \frac{216.49 \times 0{,}025.8}{2} = 2.793\text{m}$$

El largo práctico de los cambios con sapo de $\frac{1}{8}$ es entonces para una vía recta

$$l = 26.90 - 2.793 = 24.117$$

y el largo medido según la tangente al origen será dado por

$$l = y = x \ \mathrm{sen} \ \frac{24.117}{x} \qquad (19)$$

con 24.117 por límite por $x = \infty$.

Trace en el mismo depurado, y correspondientes á los mismos valores de x ó R, la curva modificada correspondiente á (19), y será esta última curva la que más se usará, no solamente para la construcción de un cambio, sino también para acotar en un plano el lugar de un cambio.

Modo de usar el gráfico.—Una vía colocada tiene, por ejemplo, $1,250^m$ de radio. Queremos colocar un cambio sin modificar las vías, salvo las restricciones que hice ya.

Tomemos $x = 1250^m$ encontramos á la derecha $y = 183^m$. El radio de la vía desviada será entonces 183.00. Si las curvas están en el mismo sentido.

Si las curvas están en sentido contrario, busquemos á la izquierda $x - 1250^m$ y encontraremos $y = 262.50$, lo que es el radio como anteriormente.

Ahora, como cualesquiera que sean los sentidos de las curvas, el largo es el mismo, busquemos á la derecha $x = 1250^m$. Encontramos arriba

$$l \text{ teórico} = 26.39$$
$$l \text{ práctico} = 23.60$$

este último valor es solo interesante.

Observaciones generales sobre la construcción de los cambios.—He dicho al principio que un cambio no se compone sólo de un sapo y de agujas. Lo que acabo de tratar muestra una vez más que un cambio debe ser un verdadero aparato, lo mismo que una tornamesa, hecho de las agujas al sapo, con esmero y en vista de su uso. Hay que notar, en efecto, que los cambios son las partes de la vía que trabajan más y también las más delicadas y las más frágiles. Otra cosa más.

1.º Deben tener en su totalidad un largo tal que se puedan sustituir en vía corriente, á un cierto número de 8 ó diez metros. Experimenté ya muchas veces la dificultad de colocación, y las modificaciones trabajosas que hay que hacer en las vías, para colocar un cambio cuando su largo corresponde á cierto número de rieles y una fracción. Siendo de regla que las junturas deben hacerse según una misma normal, debe también ser de regla que las dos hileras de rieles de un cambio tengan justo el mismo largo (salvo la diferencia debida á la diferencia de radio de las dos hileras.)

Es cierto que en todo caso se puede, cortando rieles, lograr colocar un cambio, cualquiera que sea su largo. Pero, para la facilidad de su colocación, su firmeza y por consiguiente para su conservación, y la de la vía ateniente, es preferible, diré más bien indispensable este hecho con cierto largo fijo, correspondiente al largo de los rieles de la vía.

Además, para mí, un cambio no es una porción de vía en la cual intercalen un sapo y agujas; siendo un verdadero aparato, debería ser el cambio hecho con durmientes enteros, hasta 1^{m} ó $1^{m}50$ más adelante del cruzamiento. Esto no es imposible, porque los durmientes más largos tendrían, en este caso, 4 metros más ó menos, lo que se puede fácilmente conseguir, y no sería dificultad, ni para el transporte ni para la colocación. Tendría esta inmensa ventaja, siendo marcado en cada uno la colocación de los rieles (lo que se podría con una serie de planillas muy simples) que los camineros ú otros agentes encargados de la colocación de un cambio, no podrían equivocarse, y quedarían todos los cambios colocados con una regularidad que garantizaría su firmeza, su duración, y también la conservación del material rodante.

En otro orden de ideas, debería ser de regla capital que los cojinetes de resfale de las agujas y el taco de éstas, y el cruzamiento van conservados en buen estado de limpieza. Es una de las mejores garantías contra los accidentes.

Como ensayo, va junta á esta nota, un plano de un cambio de vía, con un sapo de $\frac{1}{8}$, para resumir y hacer más claras las ideas generales que acabo de emitir.

SEGUNDA PARTE

CAMBIOS DE VÍA CON CURVAS PARABÓLICAS

Nadie ignora de las curvas de los ferrocarriles, el riel de la hilera exterior está más alto que la de la hilera interior. Esta elevación que se llama, y seguiré llamando declive, y cuyo cálculo no haré aquí por ser absolutamente afuera de la cuestión, es indispensable para compensar la fuerza centrífuga de los vehículos, y evitar aún, en grandes proporciones, el deterioro tanto de la vía como del material rodante.

Pero salvo algunos ensayos, no se logra hasta ahora dar declive en los cambios de vía, apesar que en estos aparatos por lo chico de los radios de las curvas, sería de bastante necesidad.

Encontraron dificultades que salten á la vista al hacerlo, ya sea por la construcción de las agujas, ya por las junturas con la vía que sigue el sapo ó la vía principal ayacente. Tomando por principio la teoria de los empalmes parabólicos, casi parecería resuelta la cuestión del declive. Es de saber sólo si se puede sustituír estas parábolas á las curvas circulares de los cambios de vía.

Si se pudiera, estaría resuelta la dificultad del declive, teórico y prácticamente, por ser, en estas curvas el radio proporcional al declive, ó vice versa, y dando por consiguiente, frotamiento casi nulo, en el movimiento de los vehículos.

Pero así no sucede, y en lo que sigue, demostraré que no se pueden usar los empalmes parabólicos para los cambios de vía.

Me ocupo naturalmente sólo del caso de un cambio con una vía recta, por ser demasiada compleja la cuestión en general.

La fórmula general y más usada del declive para una vía cualquiera es

$$d = \frac{v^2 l}{Rg}$$

Siendo v la velocidad por metro, l el ancho de la vía, de eje á eje de los rieles ó también la trocha, por ser chica la diferencia, R el radio de la curva, y g la intensidad de la pesantez.

Se debe entender por velocidad, la velocidad mayor, por segundo que pueda tomar el tren en la línea ó porción de línea en cuestión.

Se ve que estando el declive en relación inverso con el radio, á la punta de las agujas será nulo, y de repente debe adquirir el valor determinado por la fórmula anterior. No pudiendo d, variar así, debemos buscar variación en R. Es precisamente esta variación, el orígen de las curvas parabólicas, que tomaré como base.

Llamemos y la pendiente por metro de la hilera exterior de la vía desviada, y contemos los largos, no según esta hilera, pero según la hilera de la vía derecha, que es tangente al orígen, siendo siempre muy pequeña la diferencia.

A una distancia x de la orígen, la diferencia de altura es i x, de donde

$$x = \frac{v^2 l}{R\,g} \qquad (1)$$

En las curvas de desarrollo chico respecto al radio, se tiene

$$R = \frac{1}{f''(x)} = \frac{d^4 x^2}{d^2 y'}$$

La ecuación (1) da

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{i\,g\,x}{v^2\,l}$$

de donde sacamos, por dos integraciones

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{2}\,\frac{y\,g\,x^2}{v^2\,l}$$

y

$$y = \frac{1}{6}\,\frac{i\,g}{v^2\,l}\,x^3 \qquad (2)$$

Siendo constantes y, porque no puede pasar de 0.003 por metro, y v por la velocidad tiene forzosamente límites, y se puede considerar estos dos límites como cantidades constantes en el problema actual, vemos que la ecuación (2) tiene la forma

$$y = a\,x^3$$

No responde á la cuestión, porque debemos imponerle tres condiciones:

1.º Que para $y = 1^{m}68$, x tenga cierto valor, $24^{m}00$ más ó menos, por ejemplo;

2.º Quepara y = 1.68 el ángulo con vía derecha sea $7^{\circ}\,7'\,30'',06$;

3.º Que el radio de la curvatura, cerca del cruzamiento, no baje de 200^{m} valor mínimum.

Las tres condiciones podrían, al parecer reducirse, suponiendo relación entre i, e, v, pero esta condición sería ficticia.

Se ve entonces que la fórmula ordinaria de racordement parabólico, no responde á la cuestión de un cambio.

Examinemos ahora si no tendría solución, tomando la ecuación indeterminada de las curvas parabólicas del 3.º orden,

$$y = ax + bx^2 + c\,x^3 \qquad (3)$$

en la cual para determinar a, b, c, tendremos las tres condiciones:

1.º Que para $x = 24^m 00$ $y = 1^m 68$ (es más sencillo tomar justo 24.00;)

2.º Que para $x = 24.00$ é $y = 1^m 68$, la tangente haga con ox un ángulo β tal que tg. $\beta = 0.125$;

3.º Que el radio de curvatura cerca de $x = 24$ esté igual á 220^m.

Estas tres condiciones dan las ecuaciones siguientes:

$$1^m 68 = 24\,a + 576\,b + 13824\,c.$$

$$0.125 = a + 48b + 1728\,c.$$

$$\frac{1}{220} = 2b + 144\,c.$$

que harán conocer á a, b, c, cuyos valores son

$$a = 0{,}015455$$

$$b = 0{,}00235$$

$$c = -0{,}00000079$$

y la ecuación tipo (3) se convierte en

$$y = 0{,}0154 \int\!\!\int x + 0{,}00225 x^2 - 0.00000079\, x^4$$

Pero el radio de curvatura al origen es

$$\frac{1}{\frac{d^2 y}{dx^2}} = \frac{1}{0.00450} = 222^m$$

valor inaceptable, porque variando el radio solo de 222^m á 200^m casi se confunde la parábola con un círculo, y este último es de uso mucho más fácil.

Por lo que precede, se ve entonces que en ningún caso, un cambio con las dimensiones y los radios numéricos que le supone la práctica, podrá realizarse con las curvas parabólicas de racordement, y que, por consiguiente, el declive no puede ser función simple del radio.

Para dar el declive en un cambio, lo más simple será seguir el método adoptado hasta ahora, principiar la pendiente del riel exterior antes de las agujas, siguiéndola gradualmente hasta el sapo más ó menos, para conservarla después según las necesidades locales.

En todo caso, notemos que el declive no podrá darse en un cambio cuya vía está seguida, á la salida del sapo, por una contra-curva, por ser el declive, en esta última vía de sentido contrario, sin que haya entre ellas una línea recta bastante larga para anular el declive.

Los solos casos en que podrá darse el declive, será cuando la vía desviada, se arrancará lejos con el mismo radio, y en este último caso, el declive podrá darse pefectamente en el cambio con curvas circulares.

En otra nota, me propongo tratar de las diagonales, ó comunicaciones entre vías paralelas ó cualesquieras.

ANEXO

CAMBIOS DE VÍA CONSIDERADOS COMO EMPALMES CIRCULARES DE LÍNEAS RECTAS

En las dos notas que precede, sobre el estudio teórico de los cambios de vía, consideré la cuestión bajo el sólo punto de vista que la vía desviada, siendo recta la principal, formaba una curva continua entre la punta de las agujas y la punta matemática del cruzamiento.

Es cierto que se podrían construir muchos cambios bien diferentes, intercalando entre estos dos puntos curvas diferentes de forma y de radio. Pero, entre tanto, hay un caso digno de consideración, el en que la vía desviada será un simple empalme circular de dos rectas.

El problema es el siguiente:

Se da (fig. 18) dos rectas paralelas, las dos hileras de rieles; dos rectas cruzan las dos primeras, 1.º la línea de las agujas que hace con la primera un ángulo α = tg. α = 0.0258; 2.º la línea del sapo que, tomando el caso de un sapo de $\frac{1}{8}$, hace con la segunda un ángulo β = tg. β = 0.125. La distancia entre perpendiculares de A á C es variable. Empalmar las dos rectas AP y CP con un arco de círculo.

Cualquier que sea el radio de la curva de empalme, la distancia AD correspondiente al largo de la aguja, de la punta matemática al taco, no puede cambiar. Como límite, entonces, se podrá hacer la curva tangente en D á la línea PA.

Son varias las soluciones; pero, como en estas notas quiero sólo dar una idea de los cálculos de un cambio, tomaré un ejemplo y nos impondremos de la condición de un radio minimum de 150 metros.

El cambio de vía que así conseguiremos, lo llamaré cambio con sapo $\frac{1}{8}$, tipo acortado.

Haré notar aquí que con un mismo sapo es de mucho interés poder colocar cambios diversos, sirviendo el más corto en casos difíciles, en estaciones donde falta lugar, ó en caso de empalmes con curvas ya existentes de radio chico.

Casi todos los ferrocarriles franceses tienen los dos tipos de cambio, lo que permite también reducir á dos, y tal vez á uno, los diferentes tipos de sapos.

Tenemos, por el ángulo interior en P

$$\varphi = 180^{\circ} + \alpha - \beta$$

y, en el caso actual, con

$$\alpha = 1^\circ\, 28'\, 41'',1$$

$$\beta = 7^\circ\, 7'\, 30''\ \ 6$$

$$\varphi = 180^\circ + 1^\circ\, 28'\, 41'',1 - 7^\circ\, 7'\, 30'',6 = 174^\circ\, 21'\, 10'',5$$

Con una curva de 150^m de radio, y con este ángulo, la tangente de la curva de empalme es igual á 7^m398, lo que da

$$PA = PD + DA = 7^m398 + 4^m877 = 12^m275$$

Para calcular PC, tenemos

$$PM = 1.68 - PA\ \mathrm{tg}\alpha = 1.68 - 12.275 \times 0.0258 = 1^m363$$

y

$$CM = \frac{1.363}{\mathrm{tg}\beta} = \frac{1.363}{0.125} = 10^m904$$

El largo del cambio, entre perpendiculares, será entonces

$$AB = 12.275 + 10.904 = 23^m179$$

Según la vía desviada, tenemos:

$$CP = \sqrt{\overline{10.904}^2 + \overline{1.363}^2} = 10.988$$

Entre el sapo y la curva, habrá entonces una parte recta de

$$10.988 - 7.398 = 3^m590$$

El largo de un cambio con cruzamiento de $\frac{1}{8}$ sería con colocación normal de

$$l = \frac{4a}{\mathrm{tg}\,\beta} = 4 \times 0.84 \times 6 = 20^m16$$

y el radio

$$R = \frac{a}{\mathrm{tg}^2 \frac{1}{2} \beta} = \frac{0.84 \times 4}{0.1666^2} = 121^m 95$$

Se ve con esto, que si se gana en el largo, se pierde en el radio, lo que es muy importante y que es tal vez más ventajoso emplear un cambio con sapo de 1/8, con tipo de colocación acostado, que da un radio de 150^m.

En todo caso, lo que precede, se ve las consecuencias que se puede sacar de este nuevo modo de presentar la cuestión de los cambios de vía, siendo muchas las combinaciones que se puede hacer con radios diferentes.

Parral, Octubre 25 de 1892.

M. DORLHIAC.