MEMORIA

SOBRE LA CADENA FLOTANTE DE LAS MINAS DE HIERRO DE DICIDO

(PROVINCIA DE SANTANDER)

POR A. BRÜLL

(Mémoires et Compte-rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils; 2.° semestre, 1883.)

(Continuación.)

CAPÍTULO II.

DETERMINACIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA CADENA FLOTANTE.

Hemos dicho que el perfil longitudinal sigue, muchas veces, la inclinación natural del terreno; pero la unión de las rampas y pendientes así trazadas exige alguna precaución.

Si esta unión es demasiado brusca en las hondonadas, como la cadena se apoya sobre los vagones por efecto de la gravedad, la tensión de la cadena puede levantarla y los vagones sueltos se reunirán en los puntos bajos, de donde será difícil sacarlos.

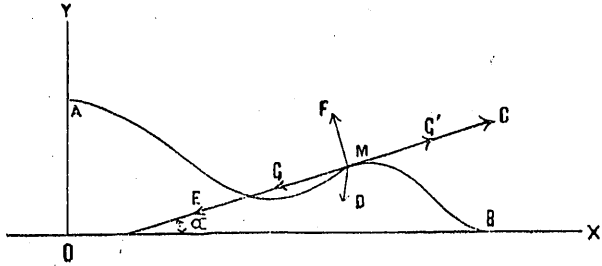
En una divisoria, por el contrario, si la rampa y la pendiente que sigue no están unidas por una curva suave, la tensión unida á la gravedad, hace que la cadena roce fuertemente contra las traviesas de la vía y resultan resistencias que deterioran el material, y exigen un aumento de fuerza motora ó paralizan el sistema si es automático.

Para evitar estos inconvenientes, se debe determinar la forma que adoptarán en cada punto los dos ramales de la cadena y establecer la vía con una rasante en relación con la cadena.

Lo primero que se necesita es calcular en cada punto de un perfil determinado la tensión de los ramales de la cadena en función de su peso, del peso de los vagones y de su separación.

Este cálculo es bastante sencillo.

Sea AB el perfil longitudinal de una alineación de camino de hierro con cadena flotante; los vagones llenos van de A hacia B y los vacíos de B á A.



Designaremos las inclinaciones con los nombres de rampas y pendientes, según que los vagones cargados las recorran subiendo ó bajando.

Sea M un vagón, MC la tangente en M y α el ángulo de esta tangente con el eje de las abscisas: α es siempre inferior á 90°; es positivo en las rampas y negativo en las pendientes.

Sea f el ángulo de rozamiento; tang. f es el coeficiente del rozamiento, es decir, la relación entre la reacción tangencial de los carriles y su reacción normal.

Llamemos d la separación constante de los vagones, medida de eje á eje, π el peso de la cadena por metro, p el peso de un vagón vacío y P el peso de la carga.

La carga por metro lineal de vía es para la vía de vagones llenos:

$$\frac{P+p}{d}+\pi=a$$

y para la vía de las vagonetas vacías:

$$\frac{p}{d}+\pi=a'.$$

Las fuerzas que solicitan la vagoneta M son las enumeradas en el cuadro siguiente:

DESIGNACIÓN DE LAS FUERZAS	VALOR DE LAS FUERZAS	
	Vagones cargados.	Vagones vacíos.
1. El peso MD.	ad.	$a'd$.
2. La tensión ME del ramal MA. .	t.	t.
3. La tensión MC del ramal MB. .	$t+\Delta t$.	$t+\Delta t$.
4. La reacción normal MF de los carriles.	ad cos. α.	$a'd$ cos. α.
5. La reacción tangencial MG ó MG′ de los carriles.	ad cos. α tang. f.	$a'd$ cos. α tang. f.

Proyectando estas cinco fuerzas sobre la tangente, se tienen las ecuaciones de equilibrio siguientes:

Para los vagones cargados

$$\Delta t = ad \text{ sen. } \alpha + ad \cos. \alpha \text{ tang. } f = ad \cos. \alpha\, (\text{tang. } \alpha + \text{tang. } f),$$

y para los vagones vacíos

$$\Delta t = a'd \text{ sen. } \alpha - a'd \cos. \alpha \text{ tang. } f = a'd \cos. \alpha\, (\text{tang. } \alpha - \text{tang. } f).$$

Consideremos separadamente la fila de vagones llenos y la de vagones vacíos.

Para los llenos:

En una rampa, $\alpha > 0$; de donde cos. $\alpha > 0$, tang. $\alpha > 0$. Por consiguiente, Δt es siempre positivo; la tensión aumenta siempre de un vagón al siguiente en la dirección AB.

En una pendiente, $\alpha < 0$; de donde cos. $\alpha > 0$, tang. $\alpha < 0$. Δt será positivo, nulo ó negativo, según que α sea inferior, igual ó superior á f; la tensión aumenta, queda igual ó disminuye de un vagón á otro, en el sentido AB, según que la inclinación de la pendiente es inferior, igual ó superior al ángulo de rozamiento.

Para los vagones vacíos, siempre yendo de A á B:

En una rampa, Δt es positivo, nulo ó negativo, según que α es mayor, igual ó más pequeño que f. La tensión aumenta cuando la inclinación de la rampa es mayor que el ángulo de rozamiento.

En una pendiente, Δt es siempre negativo; la tensión va disminuyendo de un vagón al siguiènte.

En valor absoluto, la diferencia de tensiones Δt es igual al producto de la carga por metro por la separación, por el coseno de la inclinación y por la suma algebráica para los vagones cargados ó diferencia algebráica para los vacíos, de las tangentes de la inclinación y del ángulo de rozamiento.

No se tienen en cuenta ni la rigidez de la cadena en sus inflexiones horizontales y verticales, ni las resistencias de los árboles en sus soportes. Aproximadamente, y con objeto de simplificar los cálculos, nos limitamos á aumentar un poco el valor numérico de f para tener en cuenta esas resistencias accesorias.

Consideremos la alineación AB como funcionando aislada, y supongamos que es automática. El punto A está más elevado que B; en A hay un freno y en B una polea loca para que la cadena cambie de dirección.

Sean $x = 0$, $y = \mathrm{H}$ las coordenadas de A, y $x = \mathrm{L}$, $y = 0$ las de B.

Sean x é y las coordenadas del punto variable M.

Llamando T la tensión de la cadena (vagones cargados) en A, se tendrá la tensión en el punto M.

$$t = \mathrm{T} + \Sigma_{\mathrm{A}}^{\mathrm{M}} \left[ad \cos.\ \alpha\ (\text{tang. } \alpha + \text{tang. } f)\right]$$

$$= \mathrm{T} + a\ \Sigma_{\mathrm{A}}^{\mathrm{M}}\ d \text{ sen. } \alpha + a \text{ tang. } f\ \Sigma_{\mathrm{A}}^{\mathrm{M}}\ d \cos.\ \alpha$$

$$(1) \qquad \text{ó} \qquad t = \mathrm{T} - a\,(\mathrm{H} - y) + ax \text{ tang. } f.$$

Designando por T'' la tensión de la cadena (vagones vacíos) en A, en M será:

$$(2) \qquad t'' = \mathrm{T}'' - a'\,(\mathrm{H} - y) - a'x \text{ tang. } f.$$

Apliquemos esas dos ecuaciones generales (1) y (2) al punto B; bastará hacer $y = 0$, $x = L$; se encuentra para el ramal de vagones cargados:

$$(3) \qquad T' = T - aH + aL \text{ tang. } f;$$

y para el ramal de vagones vacíos:

$$(4) \qquad T' = T'' - a'H = a'L \text{ tang. } f.$$

Igualando estos dos valores, que solo pueden diferir en las resistencias de la polea loca, que despreciamos, resulta:

$$T - T'' = (a - a')\, H - (a + a')\, L \text{ tang. } f.$$

El camino de hierro es automático cuando $T - T''$ es positivo, ó sea cuando

$$(a - a')\, H > (a + a')\, L \text{ tang. } f,$$

ó

$$\frac{a - a'}{a - a'} > \frac{\text{tang. } f}{\frac{H}{L}}.$$

Es decir, cuando la relación del peso de la carga al peso total, es mayor que la relación del coeficiente de rozamiento á la inclinación media de la alineación.

La fuerza que debe contrarrestar el freno, ó inversamente la fuerza que debe suministrar el motor, es

$$(a - a')\, H - (a + a')\, L \text{ tang. } f;$$

es decir, la diferencia positiva ó negativa entre el producto del peso de la carga por metro por el desnivel entre A y B, y el producto del peso total por metro por la distancia horizontal entre A y B, y por el coeficiente de resistencia. Se ve que esta fuerza es independiente de las ondulaciones del perfil longitudinal.

Las ecuaciones (1) y (2) permiten determinar en qué punto de un perfil determinado la tensión es más débil.

Esta tensión mínima se establece al cerrar la cadena sin fin. Se procura que la cadena flote, esto es, que no roce sobre las traviesas.

Determinada la tensión mínima en un punto de la vía ascendente ó de la descendente, es fácil calcular por medio de la ecuación (1) ó de la (2) la tensión T' del mismo ramal en la polea loca.

Del valor de T', común á los dos ramales, se deducen los de T y T' por las fórmulas (3) y (4).

Así se determina fácilmente el punto en que la tensión es más fuerte. Esta tensión máxima sirve para determinar el calibre de la cadena. Y como no se conoce el valor de π, y por consiguiente, los de a y a' hasta después de elegir la cadena, conviene considerar como una aproximación los cálculos hechos tomando un valor hipotético para π, y rehacerlos, si es preciso, con un valor más aproximado de π.

Cuando dos líneas sucesivas en prolongación una de otra, ó haciendo entre sí un ángulo cualquiera, están unidas de manera que una mueve á la otra, se calcularán, como se ha dicho, las tensiones para la línea de abajo, y cuando se conozcan las tensiones de los dos ramales en la estación de empalme, y por consiguiente, la diferencia de las tensiones, se determinarán las tensiones de los dos ramales de la cadena superior de modo que su diferencia sea igual. Esta condición es necesaria y suficiente para el equilibrio de la doble polea de transmisión (se desprecian rozamientos). Una vez fijadas las dos tensiones en el punto de unión, el mismo procedimiento de cálculo dará todas las tensiones útiles en las dos vías de la alineación superior.

Se demuestra fácilmente que en el caso de dos ó más alineaciones solidarias entre si, la fuerza motora es exactamente la misma que si no hubiese más que una sola cadena.

Pero muchas veces la tensión máxima disminuye notablemente con esta división del trazado en trozos solidarios, y se puede disminuir el calibre de las cadenas.

Tales son los métodos que sirven para fijar los elementos de una cadena flotante y para calcular la tensión en un punto cualquiera de una cadena determinada.

Solo falta indicar los medios de trazar las curvas de unión en el perfil longitudinal en función de las tensiones.

Según que se considere una cadena sometida á la acción de la gravedad, como un hilo homogéneo, inextensible y perfectamente flexible, ó bien como un sistema de varillas rígidas articuladas, homogéneo, inextensible y perfectamente flexible en las articulaciones, se llega, para figura de equilibrio, á una catenaria ó á una parábola.

Siendo π el peso por metro y t la tensión, la ecuación de la catenaria es:

$$y = \frac{t}{2\pi}\left(e^{\frac{\pi x}{t}} + e^{-\frac{\pi x}{t}} - 2\right)$$

y la de la parábola:

$$y = \frac{\pi}{2t} x^2.$$

Estas dos curvas difieren muy poco una de otra, y hemos comprobado en varios casos particulares que se podía, sin inconveniente alguno práctico, tomar indistintamente una ú otra curva.

Se debe elegir la parábola para la cual los cálculos son más sencillos.

En una unión cóncava, para que la cadena no pueda separarse de las horquillas de las vagonetas, es preciso dar á la vía un perfil menos pronunciado que la parábola de la cadena. Si se adoptase para la vía la misma curva de la cadena, ésta podría levantarse y separarse de los vagones por efecto de un exceso de tensión accidental ó de poca duración.

Será conveniente, por lo tanto, añadir á las tensiones previstas en los diversos puntos un suplemento constante y calcular con esta tensión aumentada la parábola que debe afectar la vía.

Determinando la parábola que para un arco igual á la separación normal de las vagonetas dá una flecha igual á la altura disponible por encima de las traviesas, se determina la tensión mínima que es preciso dar á la cadena para que en ningún punto se apoye sobre la vía.

En fin, calculando en cada unión convexa la parábola que tomará la cadena, según su tensión, se ve la flecha que puede tener el perfil de la vía en un arco igual á la separación de los vagones, sin que la cadena toque á la vía. De este cálculo se deduce el radio mínimo de curvatura, y por consiguiente, la curva misma.

Esta influencia directa de las tensiones en los perfiles puede conducir á la ejecución de obras costosas, como terraplenes ó viaductos para salvar los valles, trincheras ó túneles para atravesar las divisorias. Ya hemos indicado que la división del trazado en partes independientes, provista cada una de su cadena, permite disponer de antemano las tensiones. Se concibe la importancia de esta división para reducir todo lo que se pueda los trabajos de explanación de un camino de hierro con cadena flotante.

(Se *continuará.*)

MADRID: 1891.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo