

pendencia, enviando al barco mediante emisora propia el azimut de orientación, que éste pide radiando la señal Q. T. E. (¿cuál es mi azimut?) seguida de trazos largos para orientar el receptor. Utilizando el concurso de dos o más estaciones puede el barco calcular sus coordenadas geográficas.

2.º *Agrupación de estaciones*, que forman un organismo compuesto de una estación principal emisora-receptora a la que se subordinan varias radiogoniométricas situadas en puntos estratégicos de la costa. El barco solicita su intervención radiando la señal Q. T. F. (¿cuál es mi situación?) seguida de trazos largos que son recogidos por dos radiogoniómetros, los cuales comunican los resultados obtenidos a la estación principal, donde se calculan las coordenadas geográficas, que inmediatamente se envían al barco.

La operación de determinar el azimut en el radiogoniómetro es idéntica a la que ya se describió para las instalaciones de a bordo.

Resumen

Con el presente artículo termino la exposición general de los principios y realizaciones prácticas del

tema que me había propuesto. Resumiendo todo lo anterior en síntesis que complementa el análisis de la clasificación preliminar podemos dejar sentado que *los radiofaros de emisión ordinaria constituyen el sistema fundamental de orientación por señales radioeléctricas, quedando relegadas las estaciones radiogoniométricas a organizaciones subordinadas parciales en determinadas zonas y definitivamente desechados los radiofaros de emisión giratoria.*

* * *

En ninguno de los artículos anteriores me he referido a instalaciones españolas, pues teniendo en cuenta su importancia, no sólo por lo que particularmente corresponde a nosotros, sino también por su contribución general al desarrollo de la técnica, las he dejado intencionadamente para describir con todo detalle en artículos sucesivos.

Carlos FERNÁNDEZ CASADO
Ingeniero de Caminos, de Telecomunicación
y de Radio E. S. E. París

Nota.—Las fotografías de las figuras que ilustran el presente artículo han sido enviadas por la Sociedad Española de T. S. H. y por la A. E. G. Ibérica de Electricidad.

Repartición de las cargas móviles de los ejes de un tren a lo largo de un puente¹

El considerable aumento de las cargas móviles de los trenes, en un periodo relativamente corto de tiempo, y el mayor valor de las velocidades de aquéllos, ha hecho ver la necesidad de aumentar las resistencias de los puentes para ferrocarril en proporciones realmente insospechadas. No sólo es el efecto que producen las grandes cargas de los ejes móviles, sino, también, y muy especialmente, la vibración que su movimiento desarrolla.

Hace ya muchos años que el problema dinámico de vibración en un tramo, solicitado a flexión por una carga móvil, atrajo la atención de los técnicos y de los sabios, siendo ya clásico el admirable y difícil estudio, publicado por Boussinesq, sobre este caso de elasticidad dinámica.

En rigor, no hay ninguna teoría establecida sobre esta materia que permita apreciar, de un modo racional y satisfactorio, los efectos dinámicos desarrollados por dicha causa.

Se comprende la enorme dificultad del problema porque, además de que las máximas tensiones que se desarrollen en la materia del puente son evidentemente función de su periodo vibratorio, dependiente de la velocidad del móvil, existe también un efecto de arrollamiento de la masa, que aumenta notoriamente las deformaciones virtuales.

Sería necesario establecer una función que alcanzara la propagación de la onda de tensión con la velocidad del móvil, a fin de poder estudiar en ella la deformación, o el potencial, en un instante cualquiera.

Cualquier tanteo de cálculo que se haga con ese objeto resulta de tal complicación, que su desarrollo analítico puede considerarse inabordable, aun tratándose de una viga recta de inercia constante.

El método experimental puede dar una idea del orden de magnitud, siempre que una larga serie de observaciones sistemáticas permita deducir una ley concordante.

Para los puentes metálicos existen algunas fórmulas empíricas que aprecian los máximos alcanzables por efecto dinámico de la carga; pero, en realidad, su aplicación deja lugar a muchas dudas, porque en ellas sólo interviene la luz como variable (y en otras también la velocidad); pero ya se comprende que el número de variables de este problema es mucho mayor, y por lo menos intervienen los siguientes: velocidad del móvil, luz del tramo, inercia de la sección, flexibilidad relativa y flexibilidad de los nudos. Y siendo muy variable la vibración, según la composición de las mallas—que podrían definirse por la deformación relativa antes indicada—, sólo podría tenerse una idea concreta, en cada caso, por enlace de esas variables; pero es realmente incomprensible fijar en una fórmula el aumento de tensiones está-

¹ Memoria presentada al Congreso de Construcción de Viena.

ticas, sin tener para nada en cuenta la naturaleza de la composición del tramo, ni su rigidez.

En los puentes de hormigón armado el desconocimiento de este efecto dinámico es aún mayor, pues la escasa experiencia obtenida en ferrocarriles con este material no ha permitido el establecimiento de ninguna ley que proporcione elementos de juicio concretos.

Ahora bien, el efecto vibratorio decrece rápidamente al aumentar la masa, y para apreciar aunque sea someramente, su amonoriamento, basta aplicar el cálculo dinámico a la percusión ejercida sobre una barra recta.

Consecuentemente, en los puentes de hormigón en masa, por su gran cantidad de materia en relación con la del móvil, el período vibratorio se debe disipar rápidamente, decreciendo notablemente su importancia.

No ocurre lo mismo con los puentes de hormigón armado de vigas rectas, en los que aun siendo su masa relativamente grande, sin embargo, el efecto dinámico es bien sensible.

Ya que el cálculo racional sea impracticable—o por lo menos de una grave dificultad—, a falta de conocimiento más exacto podremos hacer una estimación del aumento de cargas moleculares producido por carga dinámica, aplicando la expresión del trabajo total.

Descompuesto el trabajo en los tres entes de razón: momento flector, carga normal y carga tangencial, en las vigas rectas, por la menor importancia de los dos últimos, respecto al primero, la energía puede medirse, con poco error, por la expresión

$$T = \int_0^l \frac{M^2 dl}{EI}$$

Racionalmente se establece que el trabajo de deformación producido en una estructura es, en el límite, la mitad del total puesto en juego instantáneamente, de modo que la asimilación de carga dinámica a carga estática vendrá medida por la igualdad $M^2 = 2M'^2$, con lo cual el momento flector máximo de una carga dinámica representa el valor $\sqrt{2}$ veces el de la estática del mismo peso.

Esta asimilación simplista tiene virtualidad en los casos frecuentes en que la propagación de la onda vibratoria en cada sección transversal es más lenta que la velocidad del móvil, pues si la velocidad fuera exactamente igual, la suma de las armónicas daría en el límite valor infinito, e igualmente cuando aquélla fuera superior, porque entonces habría suma concordante de algunas ondas. Afortunadamente,

en casi todas las construcciones, las velocidades de propagación son pequeñas, mucho más tratándose de estructuras de hormigón armado, que atenúan enormemente los senos de las vibraciones.

* * *

En el cálculo de los momentos y cargas tangenciales de un puente de ferrocarril, una vez establecido

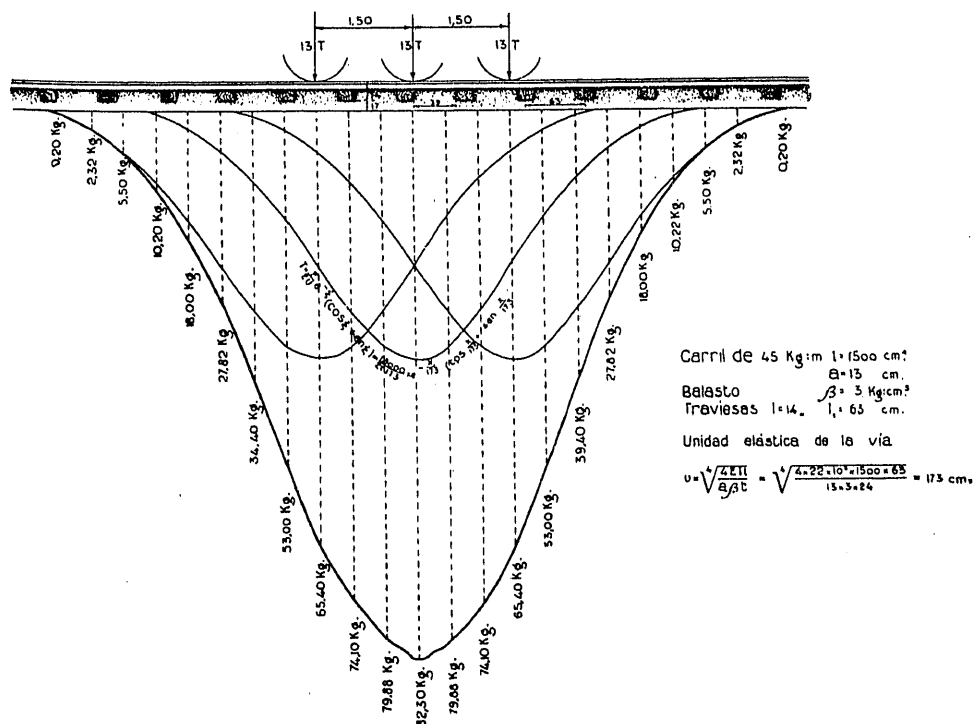


Fig. 1.^a Efecto de la sobrecarga tipo de tres ejes de 26 000 kg. Acciones unitarias transmitidas por la vía.

el tren tipo de la Instrucción, se considera ordinariamente que las fuerzas representativas de las cargas de los ejes móviles actúan directamente sobre el puente como tales fuerzas aisladas.

Compuesta la vía por carriles de gran rigidez (cada vez mayor, a medida que han ido creciendo las cargas), y descansando éstos sobre capa de balasto, no resulta lógica la suposición de cargas aisladas, ya que por los elementos anteriores la carga se reparte en zona relativamente grande antes de transmitirse al puente.

Cada fuerza actuando sobre el carril pone a éste en las condiciones de viga flotante sumergida en el árido del balasto, y la repartición de su carga merece la pena de estudiarse.

En los tratados de elasticidad (Föppl, *Résistance des matériaux*; Zafra, *Cálculo de Estructuras*; Peña Boeuf, *Mecánica Elástica*, etc.) se estudia el problema de la viga flotante, definiéndose la ley de presiones transmitidas por la función

$$r = \frac{P}{2u} e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi)$$

en la que P es la fuerza aislada, u la unidad elástica, determinada en función de la elasticidad del árido por la expresión

$$u = \sqrt[4]{\frac{4EI}{a\beta}}$$

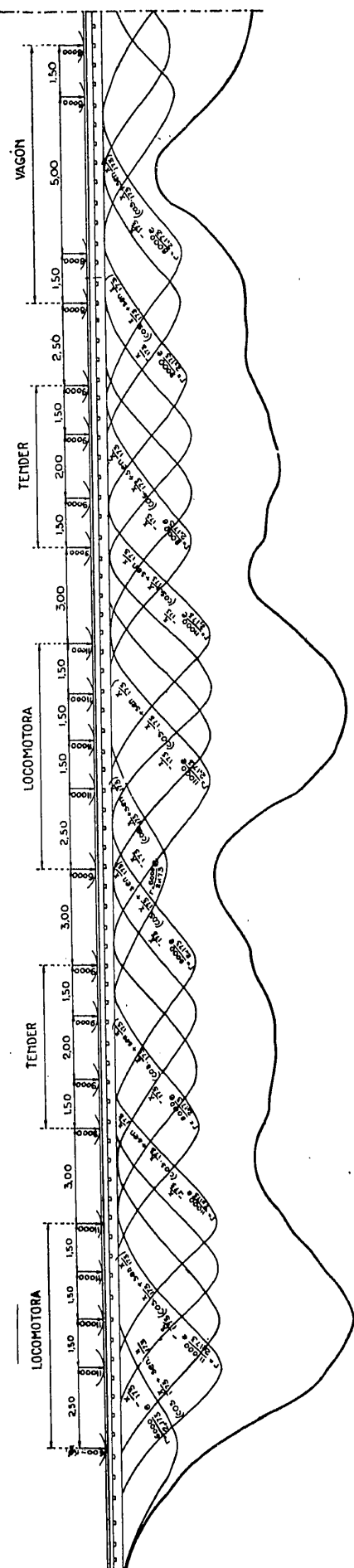


Fig. 2.ª Efecto de la sobrecarga tipo de tren. Acciones unitarias transmitidas por la vía.

Esta unidad elástica depende, como es natural, del coeficiente de elasticidad E , del carril repartidor, de su momento de inercia I , del ancho a , de su cabeza inferior y del coeficiente β , que se designa con el nombre de constante del terreno y que no es más que el número que mide la presión unitaria capaz de producir una deformación unidad en el terreno o balasto considerado.

Para los carriles modernos de 45 kg de peso por metro lineal, y para balasto normal, cuya constante oscila entre 3 y 8 kg : cm³ el valor de la unidad elástica oscila entre los valores $u = 135$ cm a $u = 180$ cm.

Con más rigor hemos establecido el cálculo apoyando el carril sobre las traviesas, elásticamente sustentadas por sumersión en el balasto, como vigas flotantes, resultando así una unidad elástica

$$u = 173 \text{ cm}$$

La ley de presiones repartidas puede entonces fijarse por la expresión

$$r = \frac{P}{2\pi 173} e^{-\frac{x}{173}} \left(\cos \frac{x}{173} + \sin \frac{x}{173} \right)$$

en la que vienen dadas las presiones en kg : cm² cuando P venga en kg.

Para cada una de las cargas procedentes de los ejes del tren se debe representar la función anteriormente citada que define la onda de propagación, y como para un tren tipo las cargas guardan entre sí una distancia fija, trazando la curva cuyas ordenadas son suma de las ordenadas de las ondas se obtiene una ley general de repartición del tren sobre el puente.

Esta ley se trasladará a lo largo de la obra, a medida que el tren marche, y sus posiciones más desfavorables serán las que deben adoptarse para el cálculo de las secciones.

En las figuras adjuntas se representa, primeramente, la repartición de tres ejes de 26 000 kg y después la de un tren tipo completo, en la composición más compacta.

En los puentes de pequeña luz la economía que de este modo se obtiene es realmente grande, pues con la repartición, lógicamente establecida, decrecen notoriamente las flexiones producidas.

Pero ya se comprende, por la forma y dimensiones de la onda, que para luces grandes su efecto es mucho menos sensible, pudiendo considerarse que hasta luces de 15 metros la ventaja conseguida es grande, y después esta economía se atenúa, desde esta cifra hasta 20 metros, disipándose rápidamente a partir de este último valor.

Tanto para el cálculo de las vigas principales del puente, como para el de los elementos del piso, resulta realmente de gran utilidad hacer esta repartición, que proporciona en los puentes pequeños sensible economía y en todos un mayor conocimiento del trabajo de sus elementos.