

TRENES DE CARGA DE PUENTES DE CARRETERA

LOAD TRAINS FOR ROAD BRIDGES

ÁLVARO DEL CUVILLO MARTÍNEZ-RIDRUEJO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Drace-Grupo Dragados

RAMÓN DEL CUVILLO JIMÉNEZ. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

RESUMEN: En este artículo se describen los trenes de carga españoles de carreteras que se han ido definiendo a lo largo de los años, desde la sobrecarga uniformemente repartida para prueba de carga, en 1843, hasta el último tren de cargas de 1998. Las Instrucciones o antiguos Pliegos oficiales que fijan dichos trenes de carga se suceden en los años 1843, 1878, 1902, 1925, 1956, 1972 y 1998. En este orden se describen dichos trenes, acompañándolos de algunos comentarios o precisiones que hemos creído útiles y, en algunos casos, necesarios. Las Figuras llevan el título genérico de Instrucción. Los autores de este artículo poseen, completos, los Pliegos, Instrucciones y Ordenes Circulares citados en él.

PALABRAS CLAVE: PUENTES, CARRETERAS, CARGAS, TRÁFICO

ABSTRACT: This article describes the load trains employed in Spanish road bridges over the years, ranging from the uniformly distributed live load employed in load testing in 1843 up to the latest load train of 1998.

The early codes or specifications on these load trains have successively been replaced in 1843, 1878, 1902, 1925, 1956, 1972 and 1998. The article describes the load trains indicated in these codes and makes certain comments or clarifications which we believe to be helpful and, in certain cases, necessary. The figures include the cover pages of these codes, which together with the specifications and related circulars are held in their entirety by the authors of this article.

KEYWORDS: BRIDGES, ROADS, LOADS, TRAFFIC

INTRODUCCIÓN

Se entiende por tren de cargas al conjunto de acciones verticales producidas por vehículos y/o acumulación de personas valoradas en forma de cargas aisladas o sobrecargas uniformes equivalentes. Las cargas que deben soportar los puentes han variado mucho con el paso del tiempo, lo que ha obligado a proyectar puentes cada vez más resistentes, a reforzar los existentes y/o a limitar el paso de vehículos de cierto peso.

Los trenes de carga, como acciones verticales, incluido el coeficiente de impacto, son solo parte de la totalidad de acciones que deben soportar los puentes. A medida que van aprobándose nuevas normas, se van ampliando las especificaciones sobre dichas acciones haciéndose más complejas y precisas.

En la Instrucción de 1925 y en el Capítulo dedicado a puentes de ferrocarril de vía normal se define y cuantifica el denominado coeficiente de impacto que amplifica la acción del tren de cargas. En puentes de carretera se fija por primera vez dicho coeficiente en la Instrucción de 1956. En las Instruc-

ciones siguientes, el valor de las cargas se supone ya amplificado por dicho coeficiente.

R.O. 25 DICIEMBRE 1843

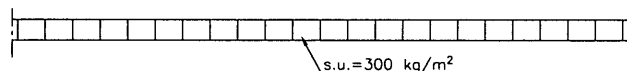
La Reina Isabel II aprueba, de conformidad con lo propuesto por la Dirección General de Caminos, Canales y Puertos, el Pliego de Condiciones Generales y las Particulares contempladas en el mismo para la construcción del "puente colgado" de Menjíbar sobre el Guadalquivir.

El "Pliego de condiciones" bajo las cuales se ha de construir el puente colgado de Menjíbar" tiene dos capítulos:

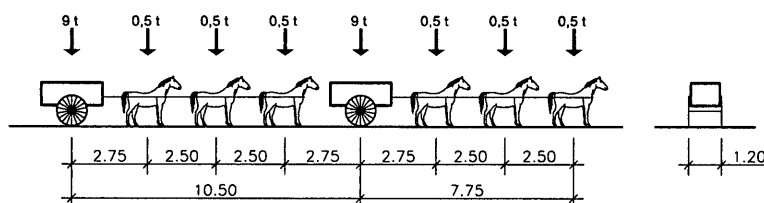
- "Condiciones comunes a todos los puentes colgados".
- "Condiciones particulares del puente de Menjíbar situado en la carretera de esta Corte a Granada".

En esta RO, en el Art.14 de las "Condiciones comunes" aparece la primera cita de la carga que deben soportar los

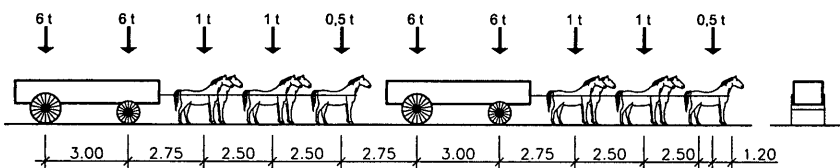
INSTRUCCION AÑO 1878



TREN TIPO -1-



CARROS DE 9 t (3 CABALLERIAS)



CARROS DE 12 t (5 CABALLERIAS)

TREN TIPO -2-

Figura 1.

puentes de carretera. En realidad es la carga que deben soportar los puentes antes de su puesta en servicio. Se trata, por tanto, de una prueba de carga.

La sobrecarga o carga de prueba se fija en 304 libras por vara cuadrada de piso comprendido entre los pasamuros.

Según la R.O. de 9 de Diciembre de 1852 la equivalencia de unidades es la siguiente:

- 1 m² = 1,4315 vara cuadrada.
- 1 m = 3,58892 pies castellanos.
- 1 kg = 2,173474 libras castellanas.

Por tanto la sobrecarga de 304 libras por vara cuadrada equivalen aproximadamente a 200 kg/m², siendo esta, por tanto, la carga de prueba.

Aunque nuestro objetivo es solo la referencia a los trenes de carga no queremos dejar de llamar la atención sobre otros artículos del citado Pliego dedicado a tramos metálicos. A

partir del Art. 9 se detallan los materiales y tensiones admisibles de estos (Art. 13). El ya citado Art. 14 se extiende en detalles sobre las pruebas de carga. Los Art. 15 y 16 tratan de la conservación del puente. Esta preocupación, reflejada extensamente en un Pliego de esta antigüedad, es digna de encomio y refleja la clara visión que, desde un principio, tuvieron los ingenieros de caminos sobre la conservación y vida de las obras. Insistiendo sobre el tema, el Art. 17 habla del reconocimiento anual y de la repetición de la prueba de carga.

Con posterioridad a esta R.O. se publica una CIRC. 12 MAYO 1846 titulada "Conservación y policía de los puentes colgados" que es también de gran interés y vuelve a poner de manifiesto la insistencia con que se legisla sobre este tema desde tiempos antiguos

R.O. 16 JULIO 1878

PUENTES DE HIERRO

Modelo de Pliego de condiciones, aprobado por R.O. de esta fecha.

Se trata de un modelo de pliego a completar por el ingeniero autor del proyecto. Consta de cinco capítulos divididos a su vez en cincuenta artículos. El capítulo IV se titula y refiere a las "Pruebas del puente".

Los puentes se dividen en dos clases: según que la luz sea menor e igual o mayor a 12m.

Se detallan las pruebas a realizar en cada caso. Se definen dos tipos de carros con 9 t los vehículos de dos ruedas y con 12 t los de cuatro ruedas (Fig. 1). Dos son las pruebas a realizar,

- Primera prueba. Carga, en reposo, de 300 kg/m²
- Segunda prueba. Carga en movimiento de carros.

A propósito de estas sobrecargas, de como se llegaban a utilizar y de otros temas, recogemos a continuación algunos de los comentarios que el insigne ingeniero J.E. Ribera detalla en su libro "Puentes metálicos en arco y de hormigón armado" publicado en 1905. En su Parte Primera dedicada a los Grandes Viaductos se refiere al hablar de "sobrecarga estática" que en los antiguos formularios para puentes de hierro de carreteras (1878) se prescribe una sobrecarga de prueba de 300 kg/m².

Comenta Ribera otras sobrecargas europeas. El Reglamento suizo de 1892 señala 450 kg/m² en las carreteras de primer orden de mucho tráfico. El Reglamento o Instrucción de Francia de 29 de Agosto de 1891 autoriza a los ingenieros a reducir la carga estática de 400 a 300 kg/m² en carreteras de fuertes pendientes o escaso tráfico. Razona además que cree ser suficientemente previsor "admitiendo como máximo el peso de cinco personas por metro cuadra-

do que, a razón de 60 kg por persona, dan la sobrecarga de 300 kg/m²."

En cuanto a la "sobrecarga dinámica" sigue comentando Ribera, que varias veces se ha consentido ya la reducción de estos pesos y propone disminuir el valor de los trenes de carga, argumentando lo accidentado y pendiente de las vías de acceso (se está refiriendo al proyecto del puente de Pino) así como la dificultad de encontrar en España carros de estos pesos tan elevados. Añade que no van a circular por el viaducto carros cuyo peso exceda de 4000 kg. La Superioridad decidió por fin, en el caso del citado puente de Pino, se considerasen carros de 6 t y 9 t que ni eran las 9 t y 12 t del Pliego ni las 6 t y 8 t que proponía Ribera.

Por todo lo anterior deducimos que se debe ser desconfiado al asignar a un puente existente el tren de cargas oficial. Esta desconfianza, como seguiremos confirmando mas adelante, conviene tenerla siempre en cuenta.

yectos de puentes metálicos (con las modificaciones propuestas por el Consejo de Obras Publicas)".

La Instrucción consta de tres Capítulos. En el Art.5º del Capítulo Primero se definen las cargas a considerar en los puentes de carretera (Fig.2):

- Carga estática de 400 kg/m². Aplicada a las aceras y a la parte afirmada o reservada a los vehículos. Cuando se trata de puentes alejados de centros importantes de población, y cuyas luces excedan de 40 m, los autores de los proyectos podrán admitir cargas estáticas más pequeñas, sin que desciendan nunca de 300 kg/m², y justificando en estos casos las cargas que adoptan.
- El tren tipo se compondrá de una fila no interrumpida de vehículos de dos ruedas, tirados por el número necesario de caballerías enganchadas a reata. El peso del carro podrá variar según los casos, pero sin ser nunca inferior a

Figura 2.

R.O. 25 MAYO 1902

Publicado en la Gaceta de Madrid el 6 de Junio de 1902.

En la R.O de esta fecha se aprueba publicar en la Gaceta la Instrucción propiamente dicha, con la supresión de los dibujos a que la misma se refiere, y el Dictamen emitido por el Consejo de Obras Publicas.

En este Dictamen se hace mención al Pliego de 1878 en lo que se refiere a puentes de carretera. Se razonan los cambios introducidos en las cargas y se excluye de la Instrucción el paso de grandes piezas de artillería, máquinas agrícolas muy pesadas y otros vehículos semejantes, cuya circulación "no se debe consentir a juicio de la Comisión, sin un permiso concedido después de una investigación previa."

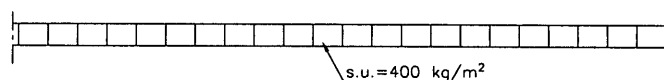
Se recuerda que el Art. 41 del Modelo de Pliego de 1878 "estaba inspirado en las reglas de la Instrucción francesa de 1877, pero ésta se modificó el año 1891 reduciendo a 6 t el peso de los carros de dos ruedas y elevando a 400 kg/m² el peso de una acumulación de personas."

"En España se vió que no existían los carros de 12 t de cuatro ruedas, ni los de 9 t de dos ruedas, habiéndose originado grandes dificultades para hacer las pruebas de los puentes en cuyos proyectos se exigía que pudieran circular vehículos de dicha clase. Por eso prescinde de ellos la Comisión y exige que los carros sean siempre de dos ruedas con un peso variable de 6 t a 8 t, según los casos, sin contar el de las caballerías de tiro".

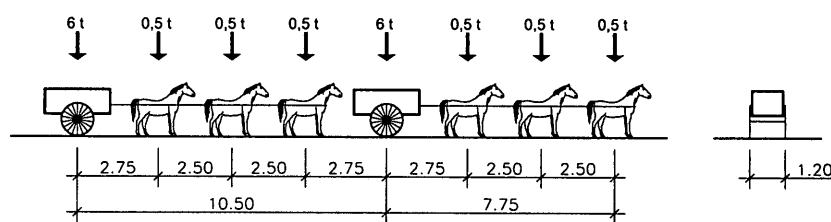
Se indica además que "las cargas uniformemente equivalentes al tren tipo para tramos rectos se han calculado para carros de 6 t y 8 t en el supuesto de que los primeros serán tirados por tres caballerías solamente...."

A continuación resumimos y comentamos en lo que se refiere a trenes de carga la "Instrucción para la redacción de pro-

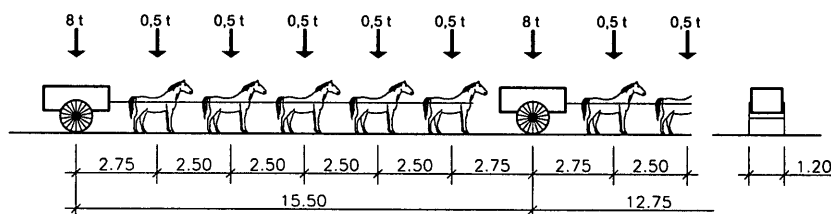
INSTRUCCION AÑO 1902



TREN TIPO -1-



CARROS DE 6 t (3 CABALLERIAS)



CARROS DE 8 t (5 CABALLERIAS)

TREN TIPO -2-

6.000 kg. Las caballerías se supondrán de un peso de 500 kg aplicado al puente en la vertical del centro de gravedad de cada caballería, y se admitirá como distancia entre los centros de gravedad de dos caballerías consecutivas 2 m 50 cm. El croquis aprobado representa el tren tipo de mínimo peso, compuesto de carros de 6 t tirados por 3 caballerías. La distancia entre el eje del carro y el centro de gravedad de la mula de varas es de 2 m 75 cm, y se supone esta misma distancia entre dicho eje y la caballería que forma la cabeza del tiro del vehículo siguiente.

Los trenes tipos para carros de 7 t y 8 t se compondrán de igual modo, suponiéndose tirados por 4 y 5 caballerías respectivamente.

Se añade que "cuando las acciones producidas por el tren tipo sean mayores que las debidas a la sobrecarga estática, lo cual sucede cuando las luces son pequeñas, hasta un límite variable con el peso de los carros y la importancia de la sobrecarga estática, se deberán considerar tantas filas de vehículos como quepan en el ancho de la parte afirmada, y además, la sobrecarga estática que corresponda, según el párrafo primero del presente artículo, aplicada a las aceras o a las partes de paseo no ocupadas por los vehículos"

En el Art.8º se incluyen tablas de "cargas uniformes equivalentes al tren tipo para tramos rectos de carretera" y en el Art.9º las tablas de "Carga para puentes de tramos rectos continuos-Casos de excepción de las reglas precedentes."

Como anécdotas curiosas en relación con las cargas o pesos de las caballerías citaremos dos casos:

Espinosa, Ingeniero Jefe de Primera Clase, en un documento titulado Manual de Caminos que comprende su trazado, construcción y conservación, libro de gran influencia francesa, dice que el peso de un caballo varía de 200 a 700 kilogramos.

Recuerda Ribera que en la Instrucción Francesa de 1877 se fijaba el peso de una caballería en 400 kg pero que en la de 1891 se elevó dicho peso a 700 kg, pero en España no se encuentran caballerías que pesen más de 500 kg siendo ésta la cifra que toma en los cálculos.

Por último llamamos la atención sobre ciertos aspectos de la sobrecarga uniforme.

- Se fija en 400 kg/m² la denominada sobrecarga estática. Este valor volverá a fijarse definitivamente en la Instrucción de 1972, aunque la causa que lo determina es distinta a la de esta y a las de las demás Instrucciones antiguas que se refieren solo a la acumulación de personas.

- La sobrecarga estática de 400 kg/m² debe extenderse a las aceras o a las partes de paseo no ocupadas por los vehículos. Esta prescripción se repite luego en las Instrucciones hasta la de 1972. Supone una complicación en los cálculos, sin tener, a juicio propio, razón suficientemente poderosa,

sa, el extenderse esta sobrecarga a las zonas contiguas a los vehículos, pero siendo necesario tenerla en cuenta en las zonas anteriores y posteriores a dichos vehículos.

R.O. 24 SEPTIEMBRE 1925

Publicada en la Gaceta de Madrid el 24 de Octubre de 1925.

Se trata de la aceptación y aprobación del proyecto de "Instrucción para el cálculo de tramos metálicos" del Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Profesor de la Escuela Especial del Cuerpo, D. Domingo Mendizábal.

De forma análoga a la ordenación de la publicación de la R.O del año 1902, se divide en:

- Estudio para la redacción de una nueva Instrucción para el cálculo de tramos metálicos. DICTAMEN DEL CONSEJO DE OBRAS PUBLICAS. 17 de Julio de 1925.
- INSTRUCCION PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO DE TRAMOS METALICOS.

El Dictamen del Consejo es muy extenso. Recuerda que la Instrucción vigente era la anteriormente citada de 1902, a la que considera "inactual".

Repetimos aquí una frase por considerarla de vigencia a lo largo del tiempo:

"Las cargas y sobrecargas que en ella (Instrucción de 1902) se prescriben muy prudentes para la época en que se fijaron, no se acomodan a la realidad, y menos aún ofrecen garantías para época futura, dada la marcha progresiva y rápidamente creciente del peso y de la velocidad de los vehículos que recorren carreteras y ferrocarriles."

La INSTRUCCIÓN PARA LA REDACCIÓN DE PROYECTOS DE TRAMOS METÁLICOS consta de 4 Capítulos divididos en 82 Artículos.

El Capítulo III se refiere a los "Tramos metálicos para carreteras". El Art. 63 se titula "Sobrecargas-Trenes tipos y sobrecargas virtuales".

Para los tramos de luces teóricas o de cálculo superiores a 100 m se estudiará en cada caso particular la disposición de los trenes tipos que deben aplicarse, teniendo en cuenta las condiciones locales, debiéndose justificar los elegidos.

El ancho total del tablero o plataforma se divide en "aceras y paseos" por una parte y en "afirmado" por otra. En las aceras y paseos se supondrá acumulada una sobrecarga uniforme de 450 Kg/m². El afirmado se supondrá dividido en zonas longitudinales de 2 m de anchura. Si el ancho total del afirmado fuese mayor de 8 m se considerará el tramo como un caso especial, y el autor del proyecto deberá

justificar las sobrecargas que adopte en sus cálculos, así como su colocación, teniendo siempre en cuenta los trenes tipos que se describirán. En cada zona de 2 m se supondrá el paso de los trenes tipos; si el ancho del afirmado no fuese múltiplo exacto de 2 m y quedase, por tanto, una zona que no pueda ocupar ninguno de los trenes tipos se supondrá acumulada en dicha zona una sobrecarga uniforme de 450 kg/m².

Los trenes tipos son los siguientes: (Fig.3)

- "Tren tipo 1- Un rodillo compresor de 20 t, correspondiendo 8 t al eje delantero y 6 t a cada una de las ruedas del eje posterior. Su longitud total será de 6 m, correspondiendo 3,875; 0,625 y 1,500 m a la separación entre ejes y a las distancias de estos a los extremos anterior y posterior del rodillo, respectivamente. La anchura total del mismo será de 2 m y la separación entre los planos de simetría de las ruedas posteriores 1,59. Este rodillo, para constituir trenes irá precedido y seguido indefinidamente de sobrecarga uniforme de 450 kg/m² en todo el ancho de la zona ocupada, o sea 2 m.

- Tren número 2- Tres tranvías de cuatro ejes cada uno, en dos carretones con una carga por eje de 6.150 kg, con una separación de 1.20 m entre los ejes del mismo carretón y de 7,10 m entre los ejes contiguos de los dos carretones del mismo coche. La longitud total del coche será de 15,50 m, quedando por ello los ejes mas separados ente sí a 3,00 m de los extremos del coche. La separación entre coches se supondrá de 6,50 m. Se supondrá un ancho de vía de 1,45 m, siendo el ancho total de las cajas de los coches de 2 m.

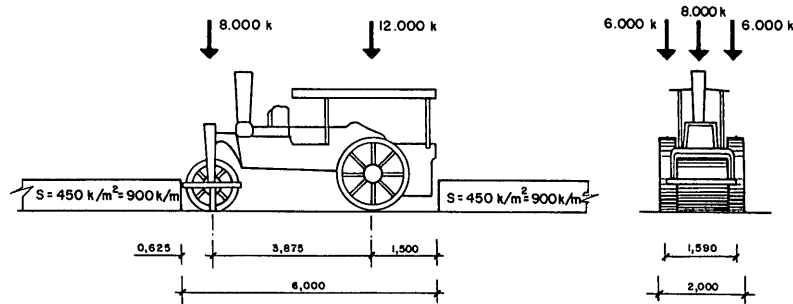
El tren estará constituido por tres de estos coches, precedidos y seguidos indefinidamente por sobrecarga uniforme de 450 kg/m² en todo el ancho de la zona ocupada, o sea 2 m.

En cada una de las zonas de 2 m, en que puede dividirse el afirmado de los puentes metálicos, siempre que la anchura de éste no sea mayor de 8 m, se supondrá colocado uno de los dos trenes tipos reseñados, según sea la luz teórica o de calculo, de acuerdo con las siguientes prescripciones:

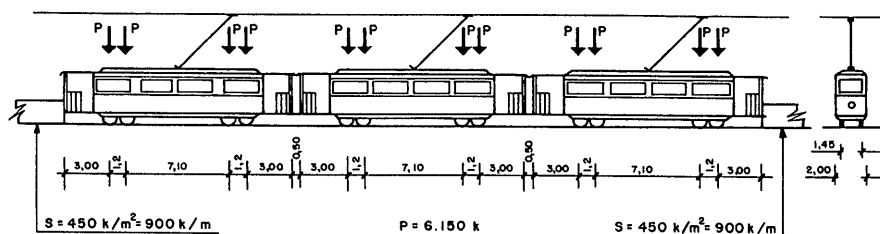
- Para los tramos metálicos con una luz teórica o de cálculo de 30 m y menores, se utilizará el tren tipo número 1.
- Para los tramos metálicos con una luz teórica o de cálculo superior a 30 m, se utilizará el tren tipo número 2.

La colocación transversal de los trenes que se adopten, así como la posición longitudinal de los mismos, se fijará igualmente que la de las zonas, si existiesen, que queden libres por estos, y que deben cubrirse con la sobre-

INSTRUCCION AÑO 1925



TREN TIPO 1 (L ≤ 30 metros)



TREN TIPO 2 (L > 30 metros)

Figura 3.

carga uniforme de 450 kg/m² para que produzcan en el elemento o pieza de la estructura que se estudie el efecto mas desfavorable, tanto en el cálculo de los momentos de flexión como de los esfuerzos cortantes.

Para el calculo de los elementos que constituyen el piso de los tramos metálicos se admitirá la posibilidad del peso de una carga aislada y única de 13 t, la que, para cada uno de aquellos, se dispondrá en la posición más desfavorable."

Se admite la posibilidad de sustituir los trenes tipos definidos y descritos anteriormente por las cargas estáticas uniformemente repartidas que se consignan a continuación en la Instrucción. Se incluye un cuadro para el cálculo de momentos de flexión y otro distinto para los esfuerzos cortantes.

En los artículos siguientes números 65 a 75 se detallan las pruebas de carga tanto estáticas como dinámicas.

Hasta aquí los puntos principales sobre los trenes de carga de la que podríamos llamar con justicia Instrucción para tramos metálicos de Mendizábal.

Es extraño que en el Capítulo III "Tramos metálicos para carreteras" no se haga referencia al Art.8 "Efectos dinámicos o de choque" en el que se especifica la fórmula del coeficiente de impacto para tramos metálicos de ferrocarriles de vía normal, ni que se haga explícito dicho coeficiente en ningún artículo del citado capítulo III.

Por estas fechas, se inicia la redacción de distintas colecciones de puentes de carretera, encomendadas por R.O. en muchos casos. En estas colecciones los autores aplican, aunque no siempre, los trenes tipos y sobrecarga uniforme que se prescriben en esta Instrucción.

El tema de las colecciones, tanto para carreteras como para ferrocarril, es de tal extensión que necesita un trabajo exclusivo. La complejidad de este tema radica principalmente en la determinación de cuáles se aprobaron o no oficialmente y qué Instrucciones, modificadas o no, sirvieron de base para su redacción.

Transcribimos a continuación los párrafos más importantes de una interesante y curiosa nota, que no hemos podido confirmar, de los apuntes de clase del profesor de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos e insigne Ingeniero D. José Entrecanales. La nota es de fecha Abril de 1953 y, por tanto, anterior a la aprobación y publicación de la Instrucción de 1956, Instrucción que no recogió ni por asomo, la tesis expuesta en dicha nota, pero que, en algunos aspectos, es precursora de Instrucciones posteriores.

La transcripción parcial de la nota es la siguiente:

"Para la revisión y puesta al día de la vigente Instrucción para el cálculo de puentes, fue constituida oficialmente una Comisión especial. Entretanto esta comisión formula sus conclusiones, y sean estas aprobadas, la Dirección General ha establecido como obligatorio el tren de cargas extraordinarias que en sus últimos proyectos venía adoptando la Jefatura de Puentes y Estructuras. La adopción de este tren extraordinario lo justifica esta Jefatura del modo siguiente:

Está constituida oficialmente una Comisión especial que tiene por misión revisar y poner al día la vigente Instrucción para el cálculo de puentes, pero entretanto que aquella formule sus conclusiones y sean estas aprobadas, esta Jefatura da a conocer lo que en orden a las sobrecargas extraordinarias que pueden tener que soportar los puentes, se está aplicando en la actualidad en otros países del grupo occidental de Europa.

No se ha llegado hasta el momento, como parece sería elemental hacer, a unificar en el grupo occidental de naciones la aplicación del tren o trenes de sobrecargas extraordinarias. Sin embargo, recogiendo varias informaciones y llegando a una conclusión práctica, estamos aplicando en los nuevos proyectos de esta Jefatura, como sobrecarga extraordinaria el tren formado por un

vehículo de 60 t; distribuidas en tres ejes iguales, de 20 t; cada uno, que distan entre sí 1,50m; siendo también la distancia de cualquiera de los ejes extremos al borde más próximo de 1,50. La longitud total del vehículo, es, por tanto, de seis metros y su ancho de tres metros.

Se comprueba la posición más desfavorable del vehículo, tanto en sentido longitudinal, como transversal, de la calzada y se admite que en un puente de varios tramos pueda insistir sobre cada uno de estos uno de los referidos vehículos, pero no dos sobre un mismo tramo, salvo lo que se dirá después.

En los puentes cuya calzada tenga 10,50. de ancho (tres circulaciones) o más, se supone que las sobrecargas extraordinarias constarán de un tren de ida y otro de vuelta, de las mismas características que se han detallado y de modo que se considera el caso de que se crucen sobre cada tramo, y en la posición más ventajosa, dos vehículos de 60 t.

Se admite que esta sobrecarga extraordinaria es simultánea con la de 450 kg por metro cuadrado, uniformemente repartida sobre toda la extensión del puente, incluso aceras, no ocupada por el vehículo referido.

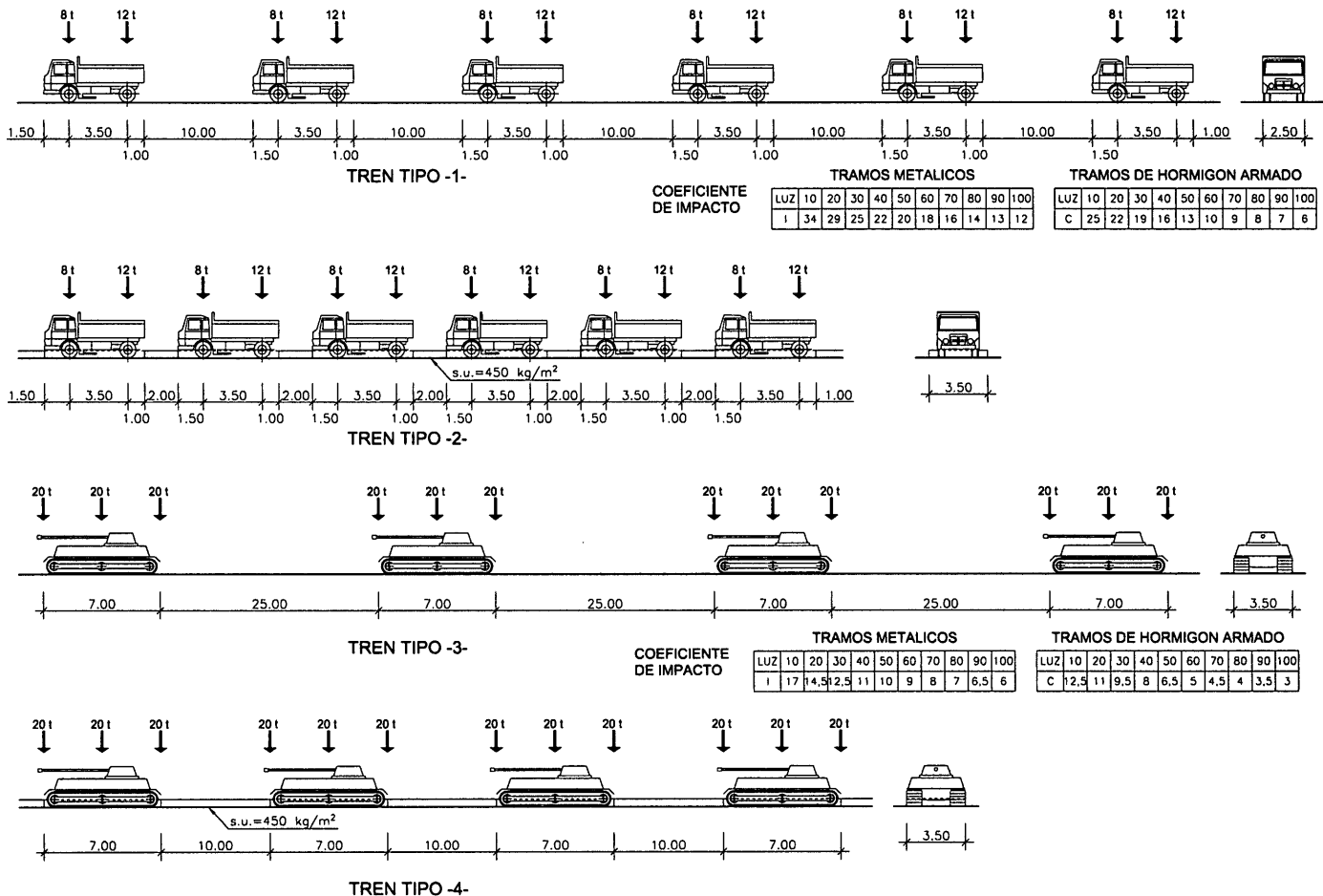
En resumen: todos los puentes se calculan, en primer término, con la sobrecarga ordinaria reglamentaria. Con esta sobrecarga ordinaria, las tensiones resultantes no deben exceder de las admitidas normalmente. Después se comprueba el puente para la sobrecarga extraordinaria, distinguiéndose dos casos:

a) Puentes con calzada de ancho menor de 10,50 m. El tren estará formado por una sola fila de vehículos de 60 t, de las características descritas y distanciados entre sí, de modo que nunca se sitúe más de un vehículo sobre cada tramo del puente. Además, se contará con la sobrecarga uniforme de 450 kgs. por metro cuadrado en la zona no ocupada por los vehículos.

b) Puentes con calzada de 10,50, de ancho o mayor. Se supondrá el cruce de dos trenes de vehículos de 60 t. con la condición de que no se sitúe sobre cada tramo del puente más que un vehículo de cada uno de los trenes. Igualmente se contará con la sobrecarga uniforme de 450 kgs. por metro cuadrado en la zona del puente no ocupada por los vehículos.

Se considerará que la sobrecarga extraordinaria solamente actuará sobre la obra en casos eventuales no frecuentes, y tanto por eso como porque en tales circunstancias se puede asegurar una mayor exactitud en el cumplimiento de las prescripciones que se impongan, está perfectamente justificado que para esas sobrecargas se admita un coeficiente de seguridad más bajo que el normal.

INSTRUCCION AÑO 1956

**Figura 4.**

La Dirección General ha dado traslado a todos sus Servicios de las citadas normas ordenando sirvan para comprobar y revisar las obras de fábrica que se encuentren actualmente en ejecución debiendo los Servicios proponer los refuerzos o variaciones que en cada caso procedan. Estas normas habrán de tenerse en cuenta en lo sucesivo en los estudios de nuevas obras de fábrica.

Esta consideración de un tren extraordinario bajo cuyo paso se admite que las tensiones de trabajo puedan alcanzar, de un modo también extraordinario, valores mayores que los límites normales, parece será mantenida en la futura Instrucción que prepara la Comisión oficial."

Entre las conclusiones del Dictamen emitido por el Pleno del Consejo de Obras Publicas sobre la nueva INSTRUCCIÓN PARA EL CÁLCULO DE TRAMOS METÁLICOS Y PREVISIÓN DE LOS EFECTOS DINÁMICOS DE LAS SOBRECARGAS EN LOS DE HORMIGÓN ARMADO, merecen destacarse la aprobación de la nueva Instrucción y la obligación de dictar una disposición complementaria que obligue a quien trate de transportar piezas de mas de 100 t a presentar el tipo de carretón que haya de utilizar, detallando los cálculos justificativos de que por la repartición de los pesos en varios ejes no se ocasionen en los tramos mayores esfuerzos que los previstos en la Instrucción.

La Instrucción va precedida de una extensa MEMORIA.

En relación con los puentes de carretera dice haberse tenido en cuenta las características del tránsito por carretera muy diferentes de los del primer cuarto de siglo, en cuanto a intensidad, frecuencia de circulaciones y peso y velocidades de los vehículos. Se añade que las prescrip-

O.M. 17 JULIO 1956

Publicada en el B.O.E. de 21 de Agosto de 1956.
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS.

ciones se refieren a tramos de 100 m de luz, como máximo; para mayores luces, excepcionales, el Proyectista deberá razonar las disposiciones que adopte. Las calzadas se dividen, a efectos del tránsito, en zonas de 3,50 m de anchura, se adoptan cuatro trenes tipos diferentes y se incluyen cuadros con las cargas virtuales uniformemente repartidas y se prescriben los efectos de impacto y frenado.

El Capítulo III de la Instrucción está dedicado a los "Tramos metálicos para carretera".

Transcribimos a continuación el Art. 54. "Sobrecargas, trenes tipos y sobrecargas virtuales."

Según lo prescrito en el Art. 54 en el caso del tren núm. 2, formado por camiones de 2,50 m de ancho y 6 m de longitud, la superficie de calzada no ocupada por los camiones se supondrá cubierta por la sobrecarga uniformemente repartida de 450 kg/m²

- En las aceras y paseos se supondrán acumuladas sobrecargas uniformes de 450 kg/m² en todo su ancho, y en la longitud que produzca efectos más desfavorables al elemento de la estructura que se considera.

- La calzada se supondrá dividida en zonas longitudinales de circulación de 3,50 m de anchura pudiendo ocurrir que el ancho de aquella sea o no múltiplo de dicha dimensión.

Los trenes tipos son los siguientes- (Fig.4)

Tren tipo núm.1- Sobre todas y cada una de las zonas existentes se supondrá que circula un convoy de seis camiones de 6 m de longitud,

de ancho de 2,50 m y un peso de 20 t con separación entre ellos de 10 m. A las sobrecargas correspondientes a este tren se aplicarán los coeficientes de impacto.

Tren tipo núm. 2- Se supondrá que sobre todas y cada una de las zonas existentes se encuentra detenido un convoy de seis camiones de las mismas características de los que constituyen el tren número 1, separados entre sí dos m. La superficie de la calzada que no está ocupada por estos trenes se supondrá cubierta por una sobrecarga uniforme de 450 kg/m². A las sobrecargas correspondientes a este tren no se aplicarán los coeficientes de impacto.

Tren tipo núm. 3- Se supondrá que circula por la calzada cualquiera que sea su anchura un solo tren de cuatro carros de 60 t sobre tres ejes de 20 t cada uno, con interejos de 1,50 m; carros que tendrán 3 m de batalla y 7 m de longitud y que irán separados unos de otros 25 m. Los coeficientes de impacto aplicables a este tren tipo número 3 serán la mitad de los previstos para el tren tipo número 1.

Tren tipo núm.4- Se supondrá que se estaciona en la calzada, en la posición más desfavorable para cada elemento, un solo tren, compuesto de cuatro carros de 60 t sobre

tres ejes de 20 t cada uno, con interejos de 1,50 m; carros que tendrán 3 m de batalla y 7 m de longitud, y que se estacionaran dejando entre sí espacio libre de 10 m. En toda la superficie de la calzada no ocupada por los carros, se supondrá una sobrecarga uniformemente repartida de 450 kg/m². A este tren de cargas no se aplicaran los coeficientes de impacto.

Cuando las previsibles condiciones de circulación lo aconsejen el Proyectista debe consultar con la Superioridad si tiene o no en cuenta para el calculo los trenes números 3 y 4 dadas sus condiciones.

Se podrá sustituir los trenes tipos definidos y descritos anteriormente por las sobrecargas virtuales equivalentes uniformemente repartidas que se consignan en unos cuadros.

Art. 57. Efectos dinámicos o de choque.- Los esfuerzos estáticos calculados aplicando las sobrecargas prescritas en el Art. 54, se aumentarán en un tanto por ciento I, variable con la luz, dado por la formula siguiente:

$$I = 45 - 0,15 \sqrt{600L - L^2}$$

en la que L es la luz del tramo.

Los valores de I que se apliquen a los viguetas y largueros no serán los correspondientes a la luz del tramo, sino a las de estos elementos."

El Capítulo V está dedicado a la recepción y pruebas de tallando los trenes de prueba y, en el caso de carreteras, las posiciones, velocidad, en su caso, y demás datos precisos.

La Instrucción termina en dos Anexos.

Anexo núm. 2. Tramos de hormigón armado para ferrocarriles y carreteras.

Art. 2º. Efectos dinámicos o de choque. En los tramos de hormigón armado para carreteras, los esfuerzos estáticos calculados aplicando las sobrecargas prescritas en el Art. 54 se aumentaran en un tanto por ciento I dado por tablas incluidas en la Fig.4 en la que se incluyen también los valores de I para tramos metálicos.

Hasta aquí un resumen de la Instrucción de 1956 de aplicación en puentes de tramos metálicos o de hormigón armado de carreteras, en lo que se refiere a trenes de carga.

Según lo prescrito en el Art. 54 en el caso del tren núm. 2 formado por camiones de 2,50 m de ancho y 6 m de longitud la superficie de calzada no ocupada por los camiones se supondrá cubierta por la sobrecarga uniformemente repartida de 450 kg/m².

Esta prescripción complicaba los cálculos de los valores y posición de las cargas totales por lo que era usual suponer que toda la superficie soportase la sobrecarga uniforme de 450 kg/m² restando a las cargas puntuales de los camiones el exceso de sobrecarga supuesto de 450 kg/m² extendida en

cada 6x2,50 m² ocupados por cada camión que formase el convoy de cálculo.

Otro problema que se planteaba era la aplicación de los trenes núm. 3 y 4 ya que el párrafo de la Instrucción dedicado a dichos trenes, parecía, en opinión de muchos proyectistas, dejar a su propio criterio la decisión sobre la aplicación en el cálculo de dichos trenes. La duda planteada fue resuelta por la ORDEN CIRCULAR N° 177-64 P de Marzo de 1964 titulada APLICACIÓN DE LOS TRENES TIPO DE SOBRECARGA DE LA "INSTRUCCIÓN PARA EL CALCULO DE TRAMOS METÁLICOS Y PREVISIÓN DE LOS EFECTOS DINÁMICOS DE LAS SOBRECARGAS EN LOS DE HORMIGÓN ARMADO".

Esta O.C. tras razonar el motivo de su resolución dice textualmente:

"En consecuencia previo informe favorable del Consejo de Obras Públicas, esta Dirección General ha resuelto:

1°.- Autorizar a los Servicios dependientes de esta Dirección para que, de acuerdo con lo que prescribe el artículo 54 de la Instrucción vigente citada, de 17 de Julio de 1956 (B.O. del Estado de 21 de Agosto de 1956), se tengan en cuenta en el cálculo de puentes y viaductos los trenes de sobrecarga N° 1 y n° 2 prescindiendo de los trenes n° 3 y n° 4.

2°.- En los casos en que, a juicio del Proyectista y por las condiciones especiales del tráfico previsible convenga tener en cuenta el paso de sobrecargas extraordinarias, se elevará consulta a la División de Proyectos, sobre la procedencia de efectuar los cálculos y comprobaciones de los puentes y viaductos de que se trate con los trenes n° 3 y 4".

A esta O.C. de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales siguieron otras dos O.C. referidas también a la Instrucción de 1956 y de las que se transcriben los párrafos mas importantes..

O.C. N° 181-64P de 30 de Junio de 1964 titulada ACLARACIONES A LA INSTRUCCIÓN PARA EL CALCULO DE TRAMOS METÁLICOS Y PREVISIÓN DE LOS EFECTOS DINÁMICOS DE LAS SOBRECARGAS EN LOS DE HORMIGÓN ARMADO. TRENES TIPO 1 Y 2 DE SOBRECARGAS. En los puntos 2 y 3 se dice lo siguiente:

"2. SOBRECARGAS VIRTUALES UNIFORMEMENTE REPARTIDAS EQUIVALENTES A LOS TRENES TIPO.

En el citado Artículo 54 de la Instrucción se incluye una tabla de sobrecargas virtuales uniformemente repartidas equivalentes a los trenes tipo reglamentarios.

Esta tabla requiere algunas aclaraciones, la corrección de determinadas diferencias que se han venido observando en su aplicación y que, en algunos casos, son de magnitud considerable.

El concepto de "sobrecarga uniforme equivalente" para el calculo de los momentos flectores y esfuerzos cortantes, re-

cogido en la expresada tabla, es sólo válido para tramos simplemente apoyados y en modo alguno para vigas continuas, arcos-articulados o empotrados-, pórticos, etc.

3. DIFERENCIAS OBSERVADAS ENTRE LOS MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZOS CORTANTES PRODUCIDOS POR LOS TRENES TIPO Y LOS PRODUCIDOS POR DICHAS "SOBRECARGAS UNIFORMES EQUIVALENTES".

Aún con la restricción del concepto a los tramos simplemente apoyados, un cálculo cuidadoso de los momentos y esfuerzos cortantes producidos efectivamente por los trenes tipo pone de manifiesto diferencias considerables con los previstos por la Instrucción aplicando las llamadas "sobrecargas uniformes equivalentes".

Estas diferencias, siempre del lado de la seguridad en el caso de los momentos flectores, son a veces por defecto en el caso de esfuerzos cortantes en las zonas centrales de los tramos.

A continuación se detallan en una serie de tablas y gráficos los momentos flectores y esfuerzos cortantes que se denominan "efectivos" (calculados aplicando los trenes tipo 1 y 2 en las posiciones más desfavorables para cada sección) y los que se denominan "previstos" (calculados aplicando las sobrecargas virtuales equivalentes señaladas por la Instrucción).

Para el cálculo de los esfuerzos debidos al tren n° 2 se ha supuesto que el ancho de los vehículos es de 2,50 metros y existe, por tanto, una faja de 1,00 metro de ancho con sobrecarga uniforme de 450 kg/m², que completa el ancho de 3,50 metros asignado al carril de circulación. Entre los vehículos se sitúa, igualmente, la sobrecarga uniforme de 450 kg/m².

Finalmente, en unas tablas resumen se señalan los valores efectivos en función de las abscisas unitarias, cada 1/20 de la luz, con el fin de facilitar la interpolación para luces intermedias entre las estudiadas".

O.C. N° 185-64P de 19 de Septiembre 1964 titulada como la O.C. N° 181 sustituyendo los TRENES TIPO 1 y 2 por los TRENES TIPO 3 y 4. En el punto 3 se dice lo siguiente:

3. DIFERENCIAS OBSERVADAS ENTRE LOS MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZOS CORTANTES EFECTIVAMENTE PRODUCIDOS POR LOS TRENES TIPO Y LOS PRODUCIDOS POR DICHAS "SOBRECARGAS UNIFORMES EQUIVALENTES"

Aun con la restricción indicada anteriormente de limitar el concepto de sobrecargas uniformes equivalentes al cálculo de los tramos apoyados, un estudio cuidadoso de los momentos y esfuerzos cortantes producidos efectivamente por los trenes tipo pone de manifiesto diferen-

cias importantes con los previstos por la Instrucción aplicando dichas "sobrecargas uniformes equivalentes".

A continuación se detallan, en una serie de tablas y gráficos, los momentos flectores y esfuerzos cortantes efectivos y los que se denominan "previstos" (cálculos aplicando las sobrecargas virtuales señaladas en la Instrucción). Se ha supuesto que la separación entre los planos medios de las ruedas de cada eje es de 3.00 metros y que el ancho total del vehículo es de 3,50 metros; de forma que en un carril de circulación o arcén de 3,50 metros

de ancho, en el tren tipo nº 4 no hay más sobrecarga uniforme de 450 kg/m² que la aplicada en el espacio libre entre cada carro y los contiguos.

Los resultados obtenidos corresponden pues a las sobrecargas existentes en dicha banda de 3,50 metros de ancho independientemente de su posterior distribución a vigas pertenecientes a otras bandas; que a su vez irán cargadas en el caso del tren tipo nº 4 con el peso uniformemente repartido 450 kg/m².

Finalmente, en unas tablas resumen se señalan los valores efectivos

en función de las abscisas unitarias, cada 1/20 de la luz, con el fin de facilitar la interpolación para luces intermedias entre las estudiadas."

O.M. 28 FEBRERO 1972.

Esta Orden Ministerial se publicó en el B.O.E. de 18 de Abril de 1972 y en ella se aprueba la "INSTRUCCIÓN RELATIVA A LAS ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE CARRETERA" y se deroga la Orden Ministerial de 17 de julio de 1956 en lo que afecta al contenido de la Instrucción que se aprueba así como cualquiera otras disposiciones de igual o inferior rango que se opongan a lo preceptuado en la presente Orden.

Esta Instrucción, la primera que se refiere exclusivamente a las acciones a considerar en puentes de carreteras, es independiente además, en cuanto a trenes de carga se refiere, del material constitutivo del puente.

La Instrucción es de aplicación solo a puentes de luz igual o inferior a 125m.

Copiamos a continuación el artículo 4.2.1.1 denominado "Tren de cargas" (Fig.5)

"El tren de cargas se valorará por la acción simultánea de:

a) Una sobrecarga uniforme de 400 kgf/m² extendida a toda la superficie a nivel de la calzada o a parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento en estudio.

b) Un vehículo de 60 t, cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al eje de la calzada formado por seis cargas de 10 t, pudiendo desplazarse en sentido transversal hasta el límite indicado en la figura 5.

La separación entre cargas en sentido longitudinal será de 1,50 metros, y en sentido transversal de 2 metros.

La superficie de apoyo sobre la que actuará cada carga será de 0.2 metros, paralelamente al eje del vehículo, por 0,6 metros de ancho.

El tren de cargas así definido se extenderá a toda la superficie a nivel de la calzada delimitada por bordillos o barreras, independientemente de las marcas viales que se fijen.

A efectos de cálculo, la sobrecarga de 400 kgf/m² podrá considerarse actuando en fajas o bandas de 3 metros de ancho constante.

En aceras, pistas para ciclistas y medianas, físicamente separadas de la calzada, se supondrá que actúa una sobrecarga uniforme igual a la definida en el párrafo a) anterior.

Dichas zonas, si no se encuentran protegidas por un obstáculo rígido que impida el paso accidental de un vehículo, se comprobarán con la sobrecarga uniforme citada e, independientemente de dicha sobrecarga, se comprobarán con una carga de 6 t supuesta, actuando sobre una superficie de 0,3 x 0,3 metros cuadrados en la posición más desfavorable.

En pasarelas, rampas y escaleras para peatones se supondrá la misma sobrecarga uniforme definida en el párrafo a).

No debe considerar el efecto de impacto en los valores de las acciones anteriormente enumeradas".

Hasta aquí la copia literal del tren de cargas de la Instrucción (1972).

Si repasamos hasta esta fecha la historia de los trenes de carga, las primeras definiciones son un intento de reproducción de las cargas "reales", o de las de ruedas de vehículos tales como apisonadoras, camiones pesados, carros militares, etc. En este grupo se encuentran nuestras antiguas Instrucciones, incluida la de 1956, parte de la AASHO y la francesa, la japonesa, etc. La primera simplificación o la tendencia siguiente consiste en sustituir los sistemas de cargas "reales" por otro más sencillo, compuesto de sobrecarga uniforme y líneas de carga. A veces, este sistema se alterna con el de cargas "reales", como sucede en la citada AASHO o en la inglesa. Por últi-

mo, parece se intenta combinar la sobrecarga uniforme con uno o varios vehículos francamente pesados; dichos vehículos podemos decir que son también "ideales" en la disposición y cuantía de las cargas. Tal es el caso de las Instrucciones holandesa, suiza, belga, etc.

El tren de cargas que propusimos a la Comisión encargada de la redacción de una nueva Instrucción fue el definido anteriormente, a pesar de la novedad del mismo y de existir otra propuesta también de cierto interés:

La idea fundamental en la que nos apoyamos para definir el tren de cargas elegido era la de aplicar por zonas longitudinales una carga lineal uniforme y una carga puntual importante que dieran lugar a solicitaciones envolventes a las producidas por el tráfico y/o acumulación de personas. Es curioso el hecho de que esta idea se desarrolla años más tarde (1981) en un artículo publicado en el Journal of the Structural Division por el Comité de Cargas en Puentes de ASCE.

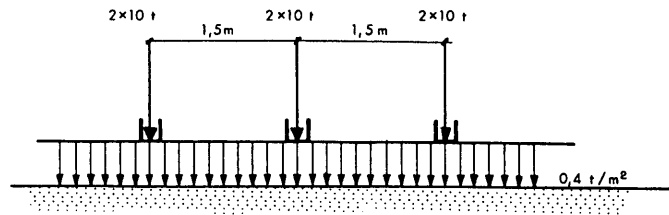
La propuesta del nuevo tren de cargas tuvo en su origen algún que otro detractor, sobre todo si se comparaba con alguna norma como la entonces vigente de la AASHO. Precisamente entonces existía una gran preocupación en EE.UU. sobre el estado de sus puentes y no es, seguramente, el tren de cargas de la citada norma la única causa del elevado número de puentes en situación precaria y de baja resistencia el motivo de esta preocupación, pero es indiscutible la influencia que tiene el valor del tren de cargas en el proyecto y, por tanto, en la resistencia y durabilidad de la estructura del puente.

Coincidiendo con el propósito de la Comisión encargada de la propuesta de una nueva Instrucción que sustituyera a la vigente de 1956, se planteó también el problema del paso por los puentes de los diferentes vehículos militares. En un "Informe sobre proyecto de Instrucción para puentes de carretera del Ministerio de Obras Públicas" redactado por la Jefatura de Ingenieros del Ejército se comparaban las solicitaciones de nuestro tren de cargas con las producidas por los vehículos militares mas pesados. En las conclusiones de dicho Informe se dice que "como resumen del estudio precedente se deduce que el tren de cargas TEC-71 que el grupo de trabajo, que ha redactado el Proyecto de Instrucción, ha entregado a esta Jefatura para su estudio, es aceptable para las necesidades de cargas militares...." El citado Informe recogía las curvas de solicitaciones de las Figuras que uno de los autores de este artículo publicó en la revista Hormigón y Acero.

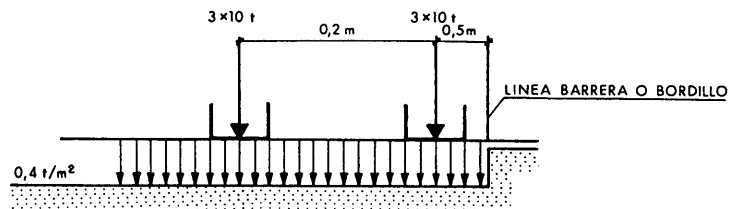
El tren de cargas de esta Instrucción no es solo de sencilla aplicación y creemos está bien definido, sino que las estructuras con él dimensionadas han mostrado, a lo largo de los años, a pesar del aumento en número y peso de todo tipo de vehículos y de la diversidad de puentes, un comportamiento muy aceptable.

INSTRUCCION AÑO 1972

SECCION LONGITUDINAL



SECCION TRANSVERSAL



PLANTA VEHICULO PESADO

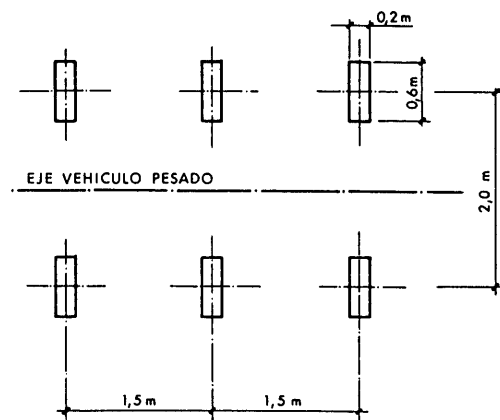


Figura 5.

A partir de la fecha en que se estudió, redactó y aprobó esta Instrucción, se extiende prácticamente por todo el mundo técnico, dedicado a los puentes, un gran interés por el tema y se llevan a cabo numerosos trabajos sobre las cargas que actúan en los puentes de carretera. Estos trabajos se intensifican con motivo de la redacción de los Eurocódigos de forma que los estudios dedicados a las cargas debidas al tráfico adquieren un desarrollo

muy importante. No obstante y como veremos en la Instrucción siguiente (1998), el capítulo del Eurocódigo 1 dedicado a cargas de tráfico no va a influir ni a modificar el tren de cargas de esta Instrucción.

O.M. 12 FEBRERO 1998

"INSTRUCCIÓN SOBRE LAS ACCIONES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO DE PUENTES DE CARRETERA".

Esta Instrucción supone una ampliación y precisión de la mayoría de las acciones a tener en cuenta en el proyecto de puentes de carretera, así como las combinaciones de las mismas.

Se limita su aplicación a luces iguales o inferiores a 200 m y/o a anchuras de plataforma iguales o inferiores a 24 m.

En cuanto al tren de cargas, se conserva el definido en la Instrucción de 1972, excepto en puentes de anchura de plataforma del tablero mayor de 12 m, en los que se considera la actuación en dicho tablero de uno o dos vehículos pesados, según sea mas desfavorable. En este caso la Instrucción detalla la disposición transversal de los dos vehículos.

Sin embargo, se ha suprimido la posibilidad de considerar que la sobrecarga uniforme de 400 kg/m^2 actúe (se entiende en zonas de vehículos) *"en fajas o bandas de 3 metros de ancho constante"*.

Solo pueden hacerse unos breves comentarios.

Parece conveniente aumentar a 500 kg/m^2 la sobrecarga uniforme (actualmente de 400 kg/m^2) actuando en el carril o zona longitudinal de vehículos pesados en una anchura de 3,50 m, rescatando a la vez la posibilidad de admitir la hipótesis de actuación de la sobrecarga uniforme en zonas o fajas longitudinales de 3,50 m de anchura, semejantes a las zonas de 3 m de la Instrucción de 1972. También habría que reconsiderar el tema del coeficiente de impacto, incluido hoy en el valor de las cargas, teniendo en cuenta, entre otros factores y análogo a lo prescrito en la Instrucción de 1956, la diferencia del material de la estructura. Simultáneamente se podría estudiar y reconsiderar lo especificado al respecto en el Eurocódigo 1 sobre trenes de carga, pero esta es una cuestión que escapa del propósito de este trabajo.

Por último, es curioso que lo que comienza en 1843, con un "Pliego de Condiciones" de aplicación a un cierto tipo de puentes metálicos, se va modificando con el paso del tiempo hasta llegar a una Instrucción (IAP-1998), con un "aire" de preámbulo de Instrucción de Puentes de Hormigón de Carreteras. ■