

Principales resultados de los pesajes de vehículos en carretera durante el periodo 1987-93

JESÚS M^º LEAL BERMEJO (*)
ANTONIO ISIDORO CRUZ (**)

RESUMEN Se presentan los principales resultados obtenidos en los pesajes de vehículos en movimiento (sin interferir en la circulación) que viene efectuando el Centro de Estudios de Carreteras del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en los tramos interurbanos de las Carreteras del Estado, gestionadas por la Dirección General de Carreteras, desde 1987. Estos resultados tienen que ver fundamentalmente con la composición del tráfico pesado, en cuanto a las frecuencias relativas de aparición de los distintos tipos de vehículos y ejes, a los valores medios anuales de sus pesos y cargas, junto con las proporciones de sobrecargados.

MAIN RESULTS OF WEIGHING CAMPAIGNS BETWEEN 1987 AND 1993

ABSTRACT This article describes the results of weighing surveys carried out by the Road Research Centre of the Public Works Research and Experimentation Centre (CEDEX) on the State Roads, managed by the General Directorate of Roads, since 1987 using a weigh-in-motion system. Those results deal with heavy traffic composition (the relative frequencies of appearance for the different types of vehicles and axes), the average values for vehicle gross weights and axle loads, in addition to the proportions of overloads.

Palabras clave: Pesaje en movimiento; Clases de vehículos; Tipos de eje; Pesos de vehículos; Cargas por eje; Sobrecargas.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1987, el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX está llevando a cabo, por encargo de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, la realización de las campañas de pesaje en los tramos interurbanos de las Carreteras del Estado. Para efectuar este trabajo se han recogido datos en más de un centenar de estaciones diferentes por medio de un sistema de pesaje en movimiento (sin interferir en la circulación), que ha permitido que durante todo el periodo se hayan pesado más de 300.000 camiones y más de 1.000.000 de ejes.

El objetivo perseguido al acometer estas campañas es el de obtener un conocimiento detallado de la magnitud y frecuencia de las cargas debidas al tráfico que realmente soportan los firmes de las carreteras, para su aplicación tanto en el proyecto como en el mantenimiento y conservación viarios.

El artículo comienza con una breve descripción del sistema de pesaje en movimiento utilizado y con la exposición de unas definiciones previas en relación con el tráfico pesado, pasando seguidamente a mostrar los resultados obtenidos a lo largo del periodo con respecto a los parámetros principales que definen la composición de este tráfico y a los valores de pesos y cargas de vehículos y ejes.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PESAJE EN MOVIMIENTO

El sistema de pesaje utilizado en estas campañas consiste en un conjunto de aparatos que mide automáticamente ciertas características de los vehículos sin interferir en su circulación. Sus principales componentes son:

- Un sensor de peso (especie de estera o alfombra formada por láminas de acero y neopreno que constituyen un condensador eléctrico de capacidad variable).
- Dos detectores de presencia (lazos de inducción).
- Un transductor de señales (cable oscilador acoplado al sensor de peso).
- Un contador y clasificador de señales (del sensor y de los detectores).

Además se emplean otros dispositivos comúnmente utilizados en ingeniería de tráfico, como recogedores de datos, aforadores, microordenadores portátiles, etc. El equipo completo es portátil y su instalación en la carretera dura unas 3 horas aproximadamente.

La medida del peso se basa en el cambio de frecuencia que se produce en un circuito oscilador (formado por el sensor y el transductor) al variar su capacidad eléctrica, debido al paso de un semieje sobre el sensor de peso (elemento capacitivo). Para mayor información al respecto, ver referencia (3).

El Sistema suministra automáticamente una serie de datos respecto de cada uno de los vehículos que pasan por su

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPTMA).

(**) Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX (MOPTMA).



FOTO 1. Disposición del equipo de pesaje en la carretera.

lugar de emplazamiento, entre los cuales los principales son: velocidad, longitud total, número de ejes (apoyados sobre el pavimento), distancia entre ejes extremos, distancia entre cada dos ejes consecutivos, peso de cada eje y peso total del vehículo.

Simultáneamente al registro de datos por el Sistema, se realiza un muestreo visual (durante 6 horas de cada 24) para complementar ciertas características de los camiones que no pueden ser obtenidas automáticamente, entre las que están: clase y tipo de camión, "tara" y "peso máximo autorizado", matrícula, número de ruedas en cada eje (simples o gemelas) y posible presencia de ejes levantados.

3. DEFINICIONES PREVIAS SOBRE LOS VEHÍCULOS PESADOS

En la realización del Estudio se clasificó como **vehículo pesado** a todo aquel que al pasar sobre el sistema de pesaje registró una longitud total mayor de 5 m y un peso total superior a 3.500 kilogramos.

Entre los vehículos pesados, y de acuerdo con el Código de la Circulación, se ha considerado **camión** al automóvil destinado al transporte de cosas o mercancías y **autocar** al destinado al transporte de personas, con capacidad para más de nueve plazas. Todo camión se puede clasificar como rígido, articulado o tren de carretera (ver figura 1). Los "camiones ri-

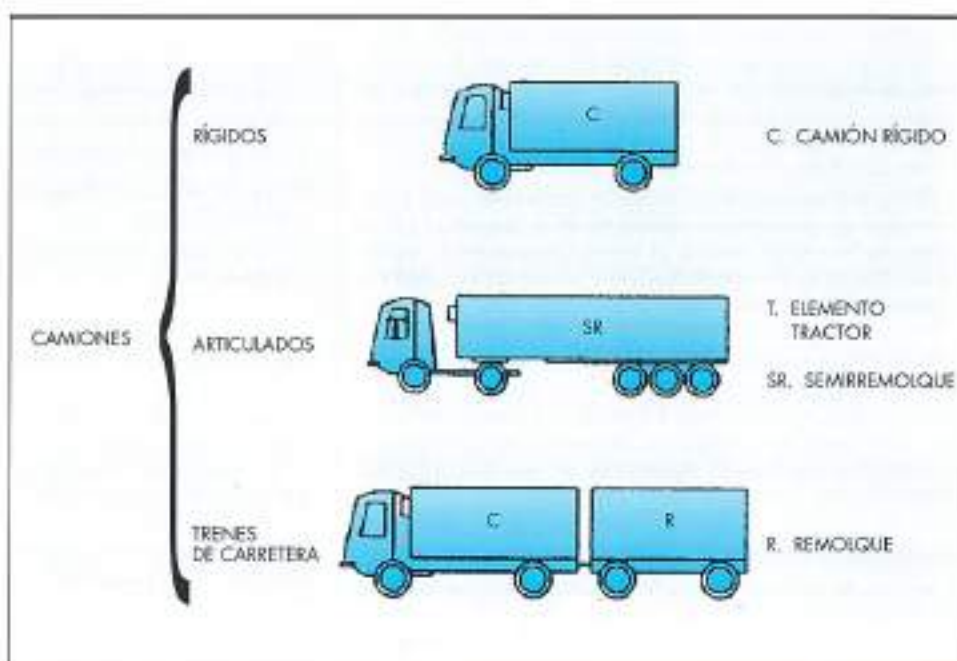


FIGURA 1. Clases de camiones.

gidos" pueden adoptar una gran variedad de formas y tamaños, que van desde los furgones de dos ejes hasta los camiones de cuatro ejes. Los "camiones articulados" están compuestos por un elemento tractor y un semirremolque, provisto solamente de ejes traseros, que se apoya y articula sobre la cabeza tractora. Los "trenes de carretera" (o conjuntos de vehículos) suelen estar formados por un camión rígido y un remolque.

Los ejes pueden ser simples, dobles ("tándem") o triples ("tridem"). **Eje simple** es aquel que dista del eje más próximo más de 1,50 m, de acuerdo a lo indicado por el Código de la Circulación. Se considera que dos ejes consecutivos constituyen un **eje doble** cuando la distancia entre sus centros no supera 1,50 m¹. Análogamente, un conjunto de tres ejes consecutivos forma un **eje triple** cuando ninguna de las distancias entre centros de ejes contiguos es superior a 1,40 m. Esta clasificación tiene en cuenta los efectos de las cargas de los ejes sobre la estructura del firme de la carretera. Así, se supone que un eje es aislado o simple cuando la deformación reversible producida en el pavimento por el paso de ese eje ha desaparecido antes de que en la sección considerada incida un nuevo eje, no existiendo por tanto efectos de superposición de cargas.

Se ha denominado **eje elemental** a cada uno de los ejes que posee el vehículo y cuya masa es el dato primario que se obtiene con el sistema de pesaje dinámico, y se ha llamado **eje múltiple o completo** (simple, doble o triple) al conjunto de ejes elementales que resulta tras la aplicación de las anteriores relaciones de distancia entre éstos. Como se puede comprender, los conceptos de eje elemental y eje completo sólo coinciden en el caso de que este último sea simple. Gráficamente se puede visualizar en el ejemplo de la figura 2.

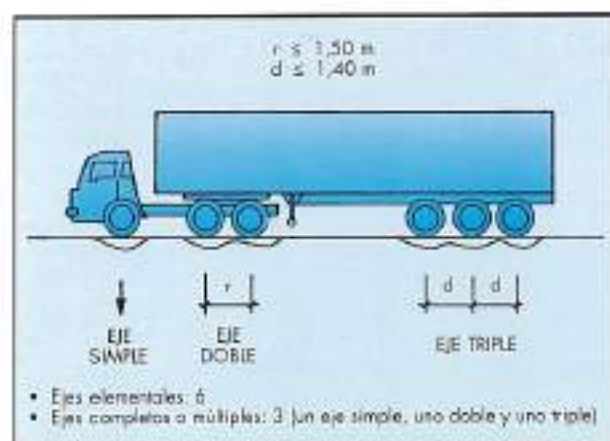


FIGURA 2. Camión articulado de 6 ejes.

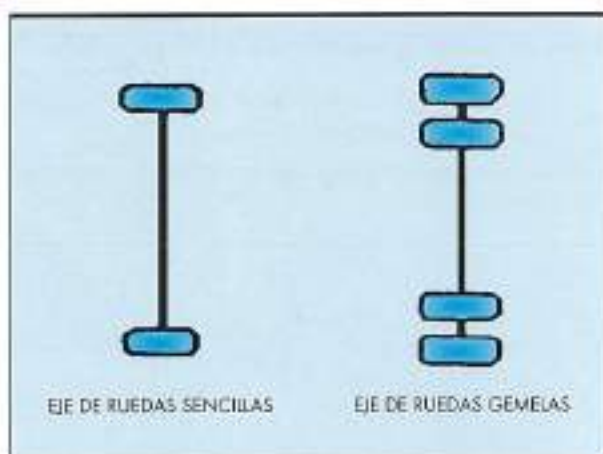
Teniendo en cuenta el número de ruedas por eje, se considera **eje de ruedas sencillas** al que tiene una sola rueda en cada uno de sus extremos, y **eje de ruedas gemelas** al que posee dos ruedas en paralelo en cada extremo (ver figuras 3 y 4).

4. COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO PESADO

4.1. GENERALIDADES

Los pesajes fueron efectuados en las carreteras, autovías y autopistas libres de la Red de Interés General del Estado,

1) Se hace notar que esta distancia ha sido modificada recientemente en el Código de la Circulación para adaptarse a la normativa comunitaria, pasando a ser de 1,8 m.



FIGURAS 3 y 4.

habiéndose obtenido unos porcentajes medios anuales de vehículos pesados que han oscilado entre el 25% y el 34% respecto del tráfico total. Estos porcentajes medios doblan aproximadamente los obtenidos para el conjunto de la red estatal en las estaciones permanentes de aforo (un 15%), lo que se debe a que no se efectuaron pesajes los fines de semana, en los cuales las intensidades de vehículos pesados son mucho menores que las de los días laborables, y a que una gran parte de los pesajes fueron ejecutados en itinerarios de gran tráfico pesado, donde las proporciones de este tipo de vehículos son más elevadas que en el resto de la Red.

En general se pudo observar un sensible crecimiento de la circulación a lo largo del período, aunque este aumento fue menor en la de los vehículos pesados que en la de los ligeros, por lo que las proporciones de aquéllos respecto del total de vehículos tendieron a disminuir.

4.2. TIPO DE TRANSPORTE Y NACIONALIDAD DE LOS VEHÍCULOS

Una primera clasificación que es necesario realizar a la hora de establecer la composición del tráfico pesado es la que se refiere al tipo de transporte, diferenciando a los vehículos según estén dedicados al transporte de personas (autocares) o al de mercancías (camiones), ya que las características económicas y funcionales de ambos tipos de tráfico son completamente diferentes. Los datos a este respecto fueron obtenidos mediante la toma de la muestra visual (ver punto 2) durante 6 horas de cada 24 de aforo total.

La nacionalidad de los camiones fue conseguida asimismo en la toma de la muestra a partir de su placa de matrícula. En la figura 5 aparecen los resultados medios del período 1990-93 en relación con el tipo de transporte y la nacionalidad de los vehículos.

4.3. SILUETA DEL TRÁFICO PESADO

La silueta del tráfico pesado se elaboró a partir de las frecuencias de aparición de las distintas clases y tipos de camión, recogidas en el muestreo visual simultáneo a los pesajes. A continuación se exponen las conclusiones obtenidas al respecto.

4.3.1. Clases de camión

A lo largo del período considerado ha existido una tendencia a la disminución de la participación de los vehículos rígidos, mientras que ha aumentado la de los articulados. La razón

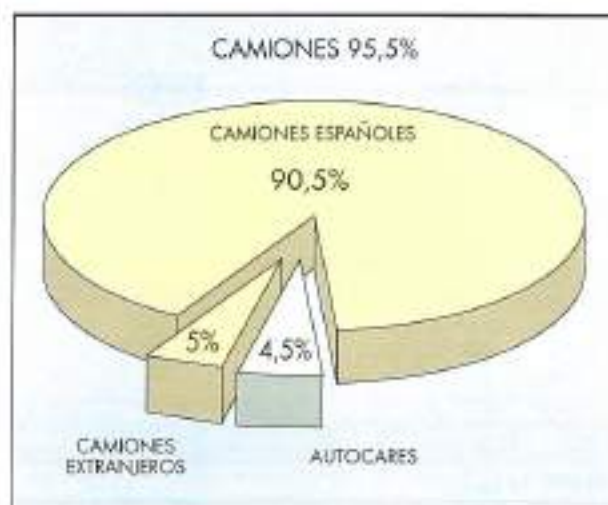


FIGURA 5. Composición del tráfico pesado por tipo de transporte y nacionalidad.

de ello ha sido la sustitución de los vehículos rígidos por articulados, más potentes y con mayor capacidad de carga, para el transporte de mercancías de largo recorrido. Los camiones españoles con remolque representan todavía un porcentaje muy pequeño del conjunto de los vehículos pesados nacionales, aunque con tendencia a aumentar. Esta clase de vehículo es más abundante en el tráfico pesado extranjero.

4.3.2. Tipos de camión

Dentro de cada una de las tres clases de camión existen diferentes tipos de vehículos, que se pueden clasificar atendiendo al número de ejes que poseen y a la disposición de éstos. En la tabla 1 de "Perfil del tráfico pesado en España

(1992)" pueden verse las frecuencias medias de aparición de los distintos tipos de camión existentes en cada una de las clases, durante los pesajes realizados en 1992. Como puede observarse en la tabla, los tipos de camión de circulación más frecuente fueron:

- El **camión rígido de dos ejes**, de los cuales el delantero es de ruedas sencillas y el trasero de ruedas gemelas. Este vehículo es el más utilizado para el transporte de mercancías de carácter local o comarcal, y en la actualidad está representado en una gran parte por furgones pesados, que van sustituyendo al camión de 20 t de peso máximo autorizado.
- El **camión articulado de cuatro ejes**, formado por dos ejes simples en la cabeza tractora (el delantero de ruedas sencillas y el trasero de ruedas gemelas) y un eje doble en el semirremolque. Este eje doble puede ser de ruedas sencillas, aunque es muy poco frecuente (menos del 2% de los casos), o de ruedas gemelas (más del 98% de las veces). Este vehículo ha sido hasta 1991 el más utilizado para el transporte de largo recorrido, aunque actualmente su participación tiene tendencia a la baja.
- El **camión articulado de cinco ejes** (tipo B-3 de la tabla), formado por dos ejes simples en la cabeza tractora (el delantero de ruedas sencillas y el trasero de ruedas gemelas) y un eje triple en el semirremolque. Este eje triple puede ser de ruedas sencillas anchas, en un 75%-80% de los casos, o de ruedas gemelas, en el 20%-25% restante. Este vehículo es el que tiende a imponerse para el transporte de largo recorrido, especialmente en su variante de ruedas sencillas anchas.

4.3.3. Comparación con la silueta del tráfico pesado de otros países

La silueta actual del tráfico pesado en España presenta una cierta similitud con las de otras naciones europeas de nues-

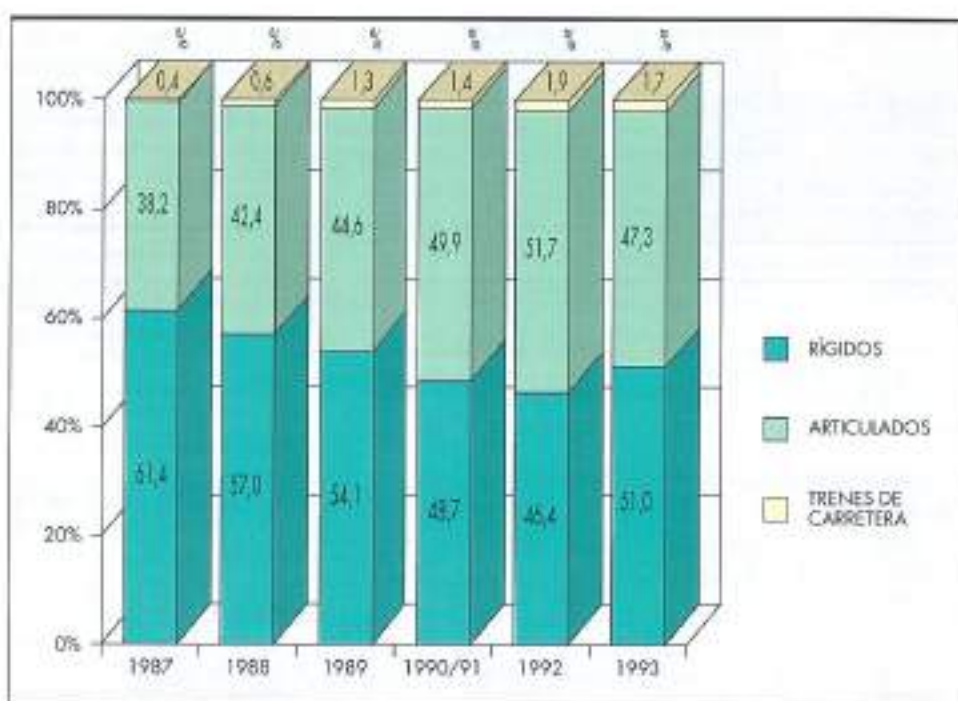


FIGURA 6. Frecuencias de aparición de los distintos tipos de camión.

CLASE DE VEHÍCULO	TIPO DE CAMIÓN	FRECUENCIA DE APARICIÓN (%)	PESO MEDIO (t)	PESO MÁXIMO AUTORIZADO (t)
RÍGIDO	A-1 	27,5	9,9	20
	A-2 	6,3	18,1	26
	A-3 	3,1	17,6	
	A-4 	9,5	26,4	38
ARTICULADO	B-1 	0,1	19,9	38
	B-2 	24,4	28,6	
	B-3 	27,2	27,5	
	B-4 	0,0	—	
TREN DE CARRETERA	C-1 	1,5	23,0	38
	C-2 	0,2	24,4	
	C-3 	0,2	27,7	

TABLA 1. Perfil del tráfico pesado en España (1992).

tro entorno, compartiendo con ellas las mismas tendencias en su evolución, como son la disminución de la participación de los vehículos rígidos, que quedan para el transporte de carácter local y comarcal, y con el incremento de los porcentajes de los articulados, que constituyen actualmente más de la mitad del tráfico pesado.

No obstante, se puede destacar la existencia de algunos rasgos diferenciales entre la silueta de nuestro país y las de otras naciones de la Comunidad Europea, entre los cuales podemos citar:

1. En España la proporción de camiones rígidos de 3 y 4 ejes, aunque descendiendo, es todavía mucho mayor. La razón de esta diferencia hay que buscarla en los menores pesos máximos autorizados para estos vehículos en otras naciones, lo que reduce su utilidad para el transportista, y también en su menor coste de compra en comparación con los vehículos articulados, lo que provocó que en países menos desarrollados, como el nuestro, ocuparan el lugar de éstos en el transporte de largo recorrido.
2. La menor participación de los trenes de carretera en el tráfico pesado de nuestro país. Esto puede deberse a su menor manejabilidad en las condiciones topográficas de las carreteras españolas que el camión articulado, la alternativa a igual capacidad de carga, y a que se exija un permiso de conducir de clase E (antiguo 1º especial) para llevar un tren de carretera, mientras que sólo se requiera un permiso de conducir de clase C2 (antiguo 1º) si se lleva un vehículo articulado, lo que ha contribuido a que el conductor autónomo, en especial, se decante por la opción del tractor más semirremolque.
3. En España no existen prácticamente cabezas tractoras de 3 ejes (uno sencillo delante y uno doble detrás), lo que se debe al hecho de que el peso máximo permitido para un eje simple es de 13 t, mayor que en casi todos los demás países (excepto Francia y Bélgica). En efecto, en los vehículos articulados el eje que suele ir más cargado en relación con su límite máximo autorizado es el de la parte trasera del tractor (donde se apoya el semirremolque), lo que ha inducido a los fabricantes de las naciones con me-

nor peso límite (como ocurre en EE.UU. y Canadá) a adoptar la configuración del eje doble trasero.

4.4. DISTRIBUCIÓN POR TIPOS DE EJE COMPLETO

Los resultados de composición del tráfico pesado según los distintos tipos de eje completo (simple, doble o triple) se obtienen a partir de los datos suministrados automáticamente por el sistema de pesaje en movimiento, que tras detectar la presencia de ejes individuales y establecer las relaciones de distancia descritas en el apartado 3, los considera como ejes completos simples, dobles o triples.

En el diagrama de barras (figura 7), se pueden ver las frecuencias relativas medias anuales de aparición de los distintos tipos de eje completo. A lo largo del periodo se ha observado una disminución de la participación de los ejes dobles a costa del aumento de la de los ejes triples, tendiendo a igualarse ambas, y manteniéndose la de los ejes simples casi constante.

En la figura 8 se muestra el reparto entre los distintos tipos de eje obtenido en la campaña de 1992. Como se puede comprobar, del total de ejes completos pesados durante ese año, casi las 3/4 partes fueron simples, mientras que el resto se distribuyó entre los ejes dobles y los triples en una proporción aproximada de 8 a 5.

Profundizando en la cuestión, también se recogieron datos en relación con la distribución de cada tipo de eje completo en cuanto al número de ruedas existentes en los extremos de cada uno de los ejes elementales de los que está compuesto (ejes de ruedas sencillas o gemelas). Esta característica se obtuvo a partir de la muestra visual, ya que no puede ser registrada por el sistema de pesaje.

Dentro de los ejes simples, el reparto entre ejes de ruedas sencillas y ejes de ruedas gemelas es aproximadamente al 50%. El eje simple de ruedas sencillas, que casi siempre es direccional, aparece en la parte delantera de los camiones rígidos y de las cabezas tractoras, mientras que el eje

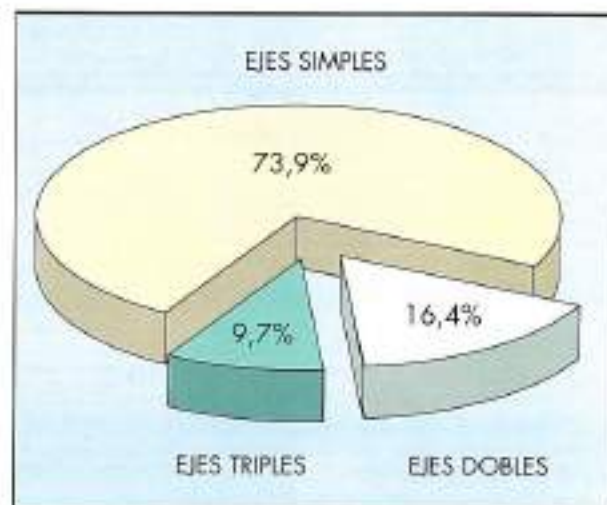


FIGURA 8. Distribución de ejes completos (1992).

simple de ruedas gemelas es el más común en la parte trasera de los camiones rígidos de dos ejes y de las cabezas tractoras.

Entre los ejes dobles, una cuarta parte aproximadamente son simétricos de ruedas sencillas (éstos aparecen en el eje delantero direccional de los camiones rígidos de 3 y 4 ejes), un 70% son simétricos de ruedas gemelas (muy comunes en la parte trasera de los camiones rígidos de 3 ejes y en los semirremolques), y poco más del 5% son ejes asimétricos, en los que el eje individual delantero es de ruedas gemelas y el trasero es de ruedas sencillas (estos ejes se encuentran normalmente en la parte trasera de los camiones rígidos de 3 y 4 ejes).

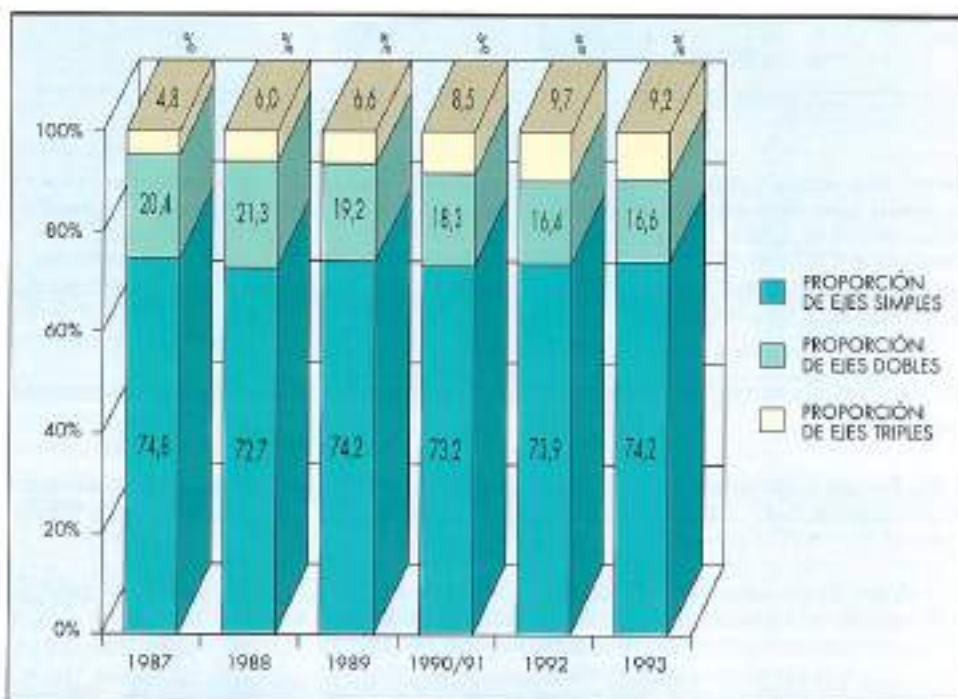


FIGURA 7. Proporciones de ejes completos pesados.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	CAMPAÑA					
		1987	1988	1989	1990/91	1992	1993
Peso	t	21,2	22,7	23,1	22,1	21,9	22,1
Longitud	m	11,7	12,4	11,7	12,5	12,8	12,3
Ejes elementales	eje	3,2	3,3	3,3	3,5	3,5	3,4
Ejes completos	eje	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5

TABLA 2. Evolución de las características del vehículo pesado medio.

Los ejes triples aparecen únicamente en la parte trasera de los semirremolques, siendo de ruedas sencillas en un 75%-80% de los casos y de ruedas gemelas en el otro 20%-25% restante.

4.5. CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO PESADO MEDIO

La definición del vehículo pesado medio que circula por nuestras carreteras viene a ilustrar con claridad los principales aspectos de la composición del tráfico pesado y su evolución el tiempo, además de ser de gran utilidad para el proyecto y planeamiento de las carreteras.

En la tabla 2 se puede comprobar cómo los cambios en el tráfico pesado mencionados en los apartados anteriores han conducido a una modificación en las características del vehículo pesado medio. Así, han aumentado su longitud y número de ejes, tanto elementales como completos, a causa del progresivo incremento de la participación de los camiones articulados en la circulación.

El peso del vehículo pesado medio se ha mantenido relativamente constante a lo largo del periodo, lo que unido al aumento del número de ejes nos indica que los vehículos tienden a ser menos agresivos para el firme, debido a los menores pesos por eje, aunque este tema se tratará más detenidamente en el próximo capítulo.

5. ESTUDIO DE PESOS Y CARGAS

5.1. LIMITACIONES LEGALES SOBRE LOS PESOS DE EJES Y VEHÍCULOS

En el Código de la Circulación se restringen tanto las cargas de los ejes como los pesos de los vehículos. Las limitaciones legales relativas a los ejes se refieren a la carga máxima de cada tipo de eje completo que en la época en que se realizó el Estudio eran:

Eje	Carga máxima (t)
Simple	13
Doble	21
Triple	24

Con respecto a los vehículos, se limita su "peso máximo autorizado" (P.M.A.) en función de la clase a la que pertenecen y a su número de ejes, resultando los siguientes valores:

Vehículo	"Peso máximo autorizado" (t)
Rígido de dos ejes	20
Rígido de tres ejes	26
Rígido con más de tres ejes	38
Articulado	38
Conjunto de vehículos	38

Estos límites, al igual que los correspondientes a las cargas por eje, han sido modificados por el Real Decreto 1317/1991, de 2 de agosto, con el fin de adecuarlos a la normativa comunitaria, aunque los vehículos matriculados con anterioridad al Decreto podrán seguir circulando con los antiguos límites.

5.2. PESO DE LOS VEHÍCULOS

El peso de cada vehículo es obtenido directamente por el Sistema a partir de los pesos de los ejes, tras la aplicación de unas condiciones restrictivas de distancias máximas y mínima de separación entre ellos.

A lo largo del periodo 1987-93 el peso medio anual de los vehículos pesados se ha mantenido en torno a las 22 t, oscilando respecto a esta cifra dentro de un intervalo del $\pm 5\%$ según los años, tal como se ha expuesto en la tabla 2 de

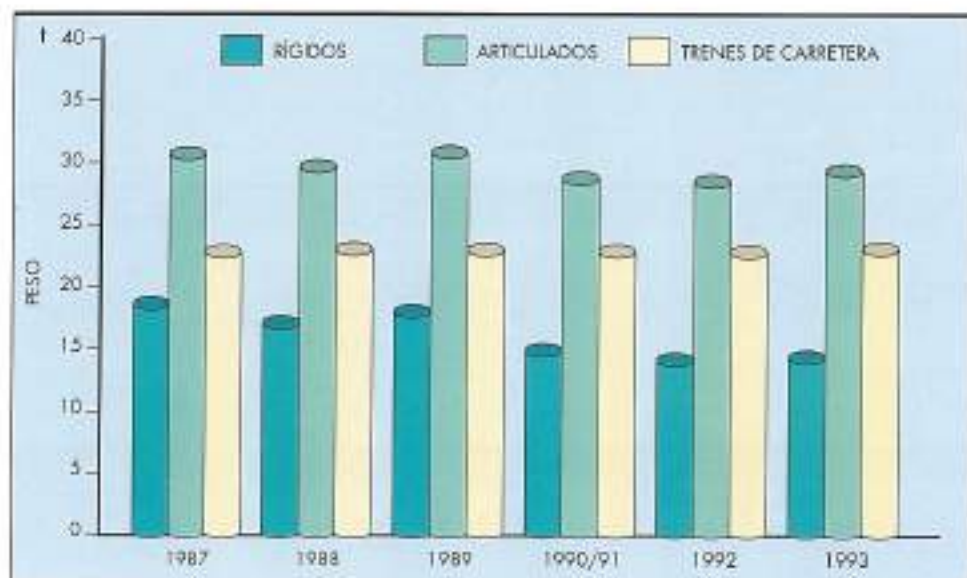


FIGURA 9. Pesos medios de las distintas clases de camión.

"Evolución de las características del vehículo pesado medio". En la figura 9 se muestran los pesos medios anuales por clase de camión de los vehículos muestreados visualmente durante los pesajes.

Como se puede observar en la figura 9, los camiones articulados han sido los que han registrado todos los años un peso medio mayor, a pesar de que su peso máximo autorizado es el mismo y menor su capacidad de carga que la de los trenes de carretera. Por otro lado, se ha producido un descenso del peso medio anual dentro de la clase de los camiones rígidos, que se debe principalmente a una disminución superior al 20% del peso los camiones de dos ejes (propiciada por la creciente presencia de furgones pesados entre los vehículos de este tipo) y a una reducción de la participación de los grandes camiones de tres y cuatro ejes.

En la tabla 1 de "Perfil del tráfico pesado en España (1992)" pueden verse los pesos medios de los distintos tipos de camión en que se subdivide cada clase. Con respecto a ellos es interesante resaltar que:

- El peso medio de los camiones rígidos de 4 ejes casi alcanza al de los articulados, superando al de los trenes de carretera, ambas clases con mucha más capacidad de carga, aunque con igual peso máximo autorizado (38 t). Esto se traduce en que frecuentemente su eje doble posterior vaya sobrecargado.
- Entre los camiones rígidos de 3 ejes, el peso medio de los que tienen eje doble delantero (tipo A-3) es casi igual al de los que tienen eje doble trasero (tipo A-2). Como el peso de la carga incide en mayor medida sobre el eje trasero, esto provoca que este eje en el tipo A-3, que es simple, vaya frecuentemente sobrecargado.

5.3. VALORES DE LAS CARGAS POR EJE

Los valores de los pesos o cargas por eje son las magnitudes fundamentales en relación con la infraestructura que se obtienen en los pesajes, pues son los que definen las acciones debidas al tráfico que soportan los firmes viarios. Estos datos son calculados de la forma siguiente: al pasar un vehículo sobre el sistema de pesaje queda registrado automáticamente el

peso de cada uno de sus ejes elementales y las distancias existentes entre ellos. Estas distancias de separación son comparadas en estudio, por medio de un programa, con las máximas correspondientes a cada tipo de eje (ver apartado 3), obteniéndose tras ello los pesos o cargas de los ejes completos.

En la figura 10 pueden verse los valores de las cargas medias anuales de los distintos tipos de ejes completos, obtenidos en las diferentes campañas respecto de todos los vehículos que circularon sobre el sistema de pesaje. Comparando las cifras resultantes para cada tipo de eje con las de sus respectivos límites legales, se puede decir que la carga media anual de los ejes simples varió entre el 48% y el 55% de su límite legal (13 t), la carga de los ejes dobles lo hizo entre el 64% y el 74% del suyo (21 t) y la de los ejes triples osciló entre el 65% y el 72% de 24 t, su "peso máximo autorizado".

En la tabla 3 se pueden observar asimismo los valores de la carga media anual de los tipos de eje completo, considerando también el número de ruedas por eje. De los valores que aparecen en ella se puede deducir que los ejes simples de ruedas gemelas fueron aproximadamente entre un 75% y un 80% más cargados que los simples de ruedas sencillas. En el caso de los ejes dobles, los asimétricos y los de ruedas gemelas circularon entre un 44% y un 55% más cargados que los de rueda sencilla, mientras que para los ejes triples, la diferencia de pesos entre los de rueda sencilla y los de rueda gemela es menor del 10%, a favor de estos últimos. Otra característica digna de mención es que las cargas medias de los ejes dobles asimétricos, de los dobles de ruedas gemelas, de los triples sencillos y de los triples gemelos son en todos ellos de valores similares, con la diferencia de que en unos casos se utilizan sólo tres ruedas para transmitir la carga al pavimento (doble asimétrico, triple de ruedas sencillas) mientras que en los dobles gemelos la carga se transmite por medio de cuatro ruedas y en los triples gemelos por medio de seis, con lo cual, en la práctica, estos últimos resultan menos agresivos para el firme.

5.4. PORCENTAJES DE VEHÍCULOS Y EJES SOBRECARGADOS

En la realización de este estudio se consideró como vehículo sobrecargado a todo el que superó su correspondiente peso

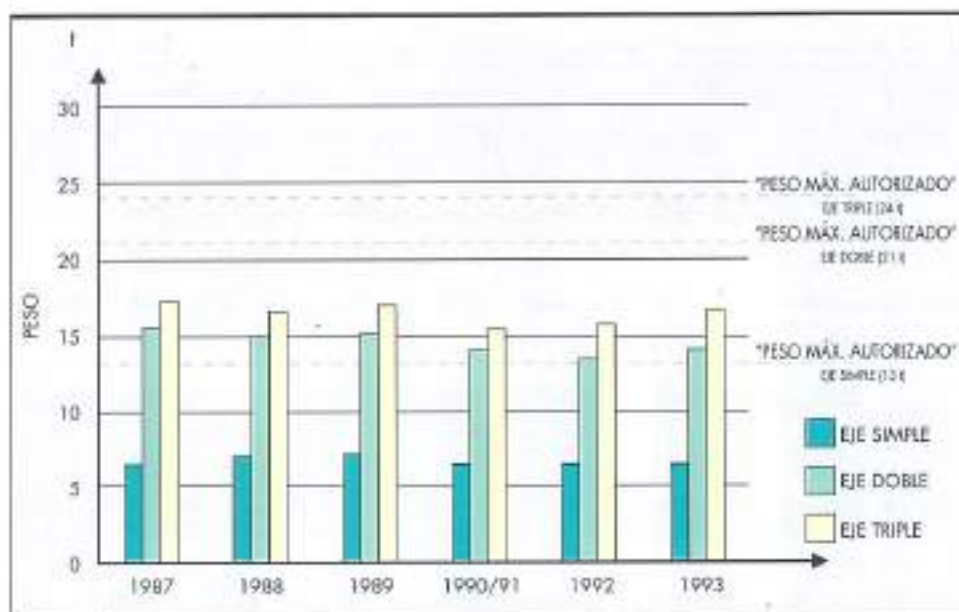


FIGURA 10. Cargas medias de los distintos tipos de eje completo.

EJE	SÍMBOLO	AÑO					
		1987	1988	1989	1990/91	1992	1993
Simple de ruedas sencillas	●	5,1	5,0	5,4	4,8	4,7	4,8
Simple de ruedas gemelas	●●	9,3	9,0	9,5	8,3	8,3	8,4
Doble de ruedas sencillas	●●●	10,9	10,2	10,8	9,8	9,5	10,3
Doble asimétrico	●●●	16,6	15,7	16,4	14,7	14,0	14,4
Doble de ruedas gemelas	●●●●	16,5	15,8	16,2	15,2	14,2	15,2
Triple de ruedas sencillas	●●●●	14,8	13,8	15,2	13,3	12,9	14,0
Triple de ruedas gemelas	●●●●●	15,1	15,1	15,4	13,6	13,5	15,5

TABLA 3. Carga media anual de los distintos tipos de eje completo (en toneladas).

máximo autorizado según el Código de la Circulación, donde viene establecido en función de la clase de vehículo y el número de ejes (ver 5.1) y asimismo fueron clasificados como ejes sobrecargados aquellos ejes completos que rebasaron su correspondiente carga máxima de acuerdo también al mismo Código. En la figura 11 se muestran los porcentajes medios anuales tanto de ejes como de vehículos sobrecargados obtenidos en las diferentes campañas. Como se puede comprobar la proporción de ejes completos sobrecargados es siempre menor (menos de la mitad) que la de vehículos sobrecargados, lo que se debe a la buena colocación de la carga, que permite que aunque el vehículo supere su P.M.A., muchas veces no vaya ningún eje sobrecargado.

De entre los diferentes tipos de ejes completos, los dobles han sido los que más frecuentemente han circulado sobrecargados todos los años, mientras que los simples fueron los que menos veces sobrepasaron su peso máximo autorizado. Hay que aclarar, sin embargo, que la pequeña proporción de ejes simples sobrecargados se debe a que el eje delantero de los camiones, que casi siempre es simple, soporta el peso del

motor y la cabina, y le afecta poco el peso de la carga. En la figura 12 se muestran los porcentajes de sobrecargados obtenidos en la campaña de 1992, respecto de cada tipo de eje completo.

5.5. CARGAS MEDIAS DE LOS EJES SOBRECARGADOS

Las sobrecargas tienen una influencia muy importante sobre la vida de servicio de los firmes de carretera, incluso aunque su probabilidad de ocurrencia sea más bien pequeña, tanto por consideraciones de fatiga como de las tensiones máximas admisibles en las capas del firme. Por ello, es muy importante conocer no sólo la probabilidad de ocurrencia de las sobrecargas (porcentajes de ejes sobrecargados), sino también los valores de éstas. Con este objetivo se han calculado las cargas medias anuales, por tipo de eje, de todos los ejes completos que circularon sobrecargados a lo largo del periodo (ver figura 13). Como se puede comprobar, los ejes dobles son los que circularon en todas las campañas con una sobrecarga mayor en relación con su límite legal (21 t), siendo su valor medio del 15% al 18% de éste, mientras

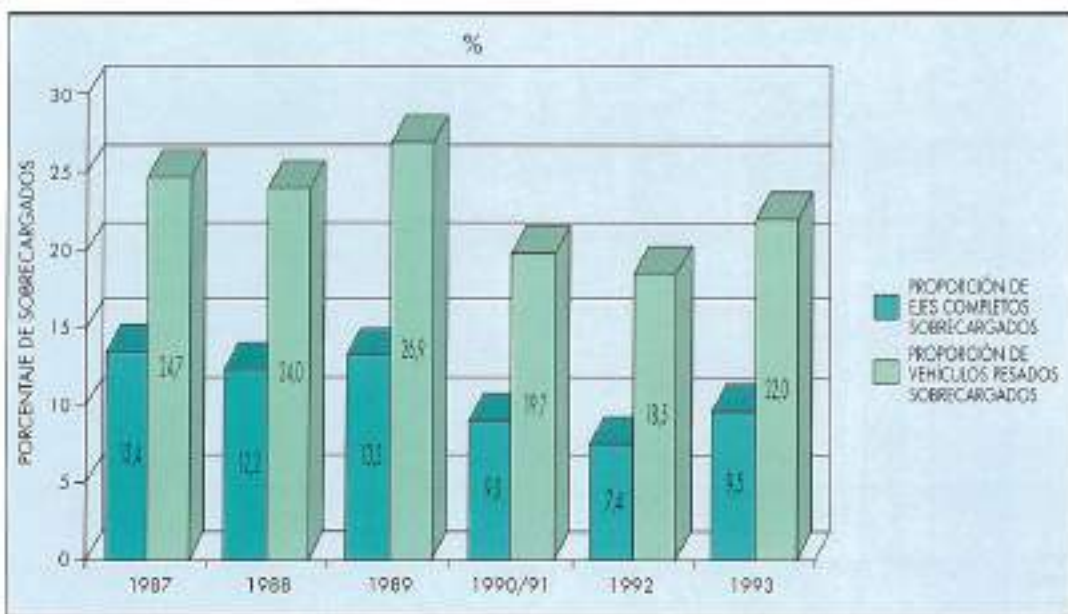


FIGURA 11. Proporciones de vehículos pesados y ejes completos sobrecargados.



FIGURA 12. Proporciones de ejes completos sobrecargados por tipos (1992).

que las sobrecargas medias de los ejes simples superaron entre el 10% y el 16% a su peso máximo autorizado (13 t) y la sobrecarga de los ejes triples se mantuvo casi constante entre el 7% y el 8% de su límite (24 t), con lo que fueron los menos sobrecargados.

5.6. DISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS POR EJE

Uno de los principales objetivos en la realización de los pesajes es la obtención de las distribuciones o espectros de cargas por tipo de eje, es decir el conjunto de todos los valores de las cargas con sus correspondientes frecuencias de aplicación, pues constituyen uno de los principales parámetros de diseño del firme de una vía.

En efecto, para el cálculo de una sección de firme, la mayoría de los modelos establecen que la rotura se produce por fatiga de alguna de las capas tras la aplicación de la carga tipo un número de veces N , obtenido a partir de ensayos de laboratorio y calibrado posteriormente a escala real, cuyo efecto se debe comparar con el producido por el espectro real de cargas. Generalmente esta comparación se basa en los siguientes principios:

- 1) Ley de Miner, que establece que los daños ocasionados por ejes diferentes y de distintas cargas se pueden sumar.
- 2) Ensayo AASHO, en el que se dedujeron las equivalencias entre los deterioros ocasionados en el firme por los diferentes tipos de eje en relación con una carga patrón. De acuerdo con este experimento, los efectos destructivos sobre el firme de un eje simple, de un eje doble (tandem) y de un eje triple (tridem) en relación con los producidos por el eje simple tipo de P_0 toneladas vienen dados respectivamente por las expresiones [1], [2] y [3].

$$e_S = e_0 \cdot \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\alpha} \quad [1]$$

$$\alpha \geq 4$$

$$e_D = e_0 \cdot \beta \cdot \left(\frac{Q}{2P_0} \right)^{\alpha} \quad [2]$$

dependiendo del tipo de firme:

- firmes flexibles $\alpha = 4$
- firmes semirrígidos $\alpha = 8$

$$e_T = e_0 \cdot \gamma \cdot \left(\frac{R}{3P_0} \right)^{\alpha} \quad [3]$$

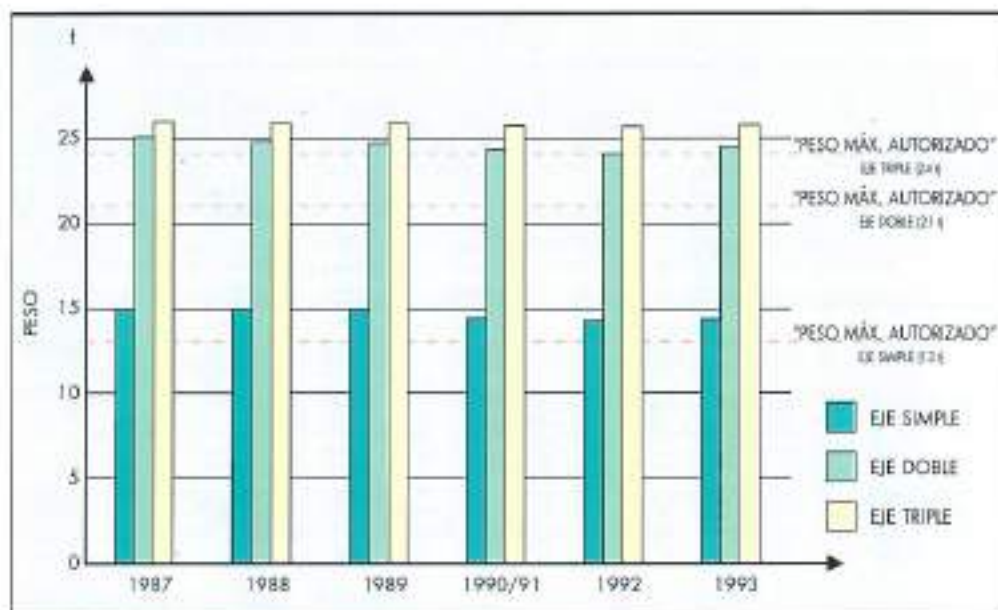


FIGURA 13. Cargas medias de los ejes completos sobrecargados.

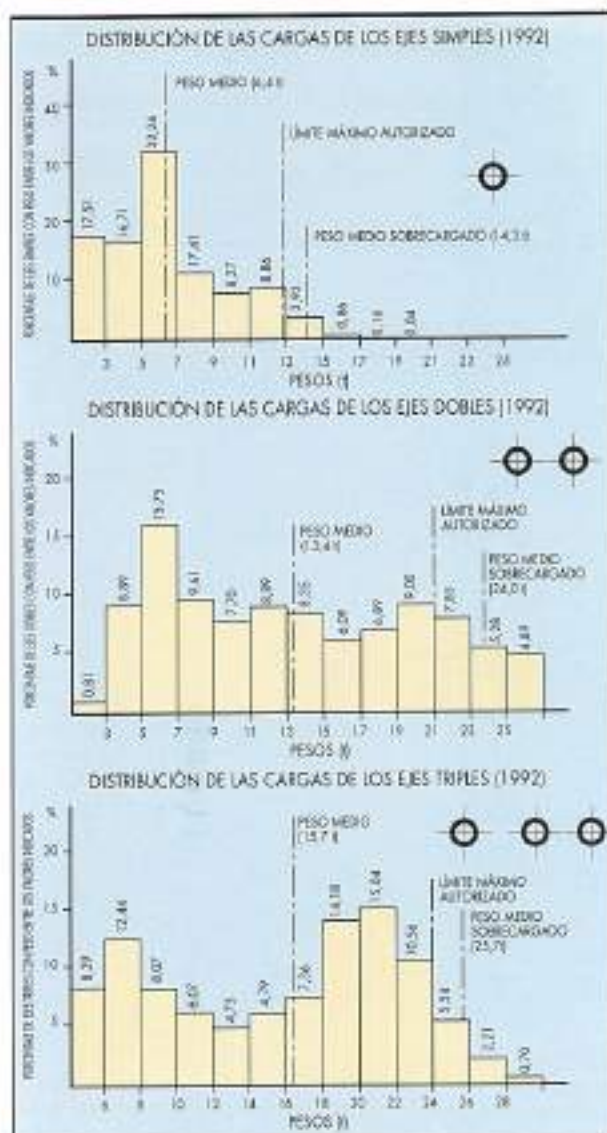


FIGURA 14. Espectros de las cargas de cada tipo de eje completo.

siendo:

e_s = deterioro producido por el eje simple tipo de P, toneladas.

e_{ss} = deterioro producido por un eje simple de P toneladas.

e_D = deterioro producido por un eje doble de Q toneladas.

e_T = deterioro producido por un eje triple de R toneladas.

Normalmente se toma $\beta = 1,4$ y $\gamma = 2,325$, lo que quiere decir que un eje doble de peso Q equivaldrá a 1,4 veces el eje simple de peso Q/2, y un eje triple de peso R equivaldrá a 2,325 veces un eje simple de peso R/3.

En la práctica, se calcula la equivalencia en ejes simples de P, toneladas del conjunto de ejes simples, dobles y triples, a partir de sus correspondientes distribuciones de cargas, y se compara con el número de ciclos N de aplicación de la carga tipo que producen la rotura del firme.

En la figura 14 aparecen los espectros de las cargas de cada tipo de eje completo, obtenidos a partir de los datos de los pesajes realizados en el año 1992.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Subdirección General de Tecnología y Proyectos de la Dirección General de Carreteras por la financiación de las campañas de pesaje y las facilidades dadas para la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO DEL RÍO, R. "Caracterización del tráfico en el dimensionamiento de firmes. El espectro de vehículos pesados en España", Cuadernos de investigación CEDEX, C15, Madrid, 1986.
2. GULLÓN, M.; LEAL, J. e ISIDORO, A. "Evolución de las características del tráfico pesado en España durante el último sexenio", Ingeniería Civil, CEDEX, 89, mayo 1993, 41-51.
3. CRESPO DEL RÍO, R.; GÓMEZ, J. e ISIDORO, A. "Sistema de pesaje dinámico para el estudio del tráfico de vehículos pesados", Ingeniería Civil, CEDEX, 71, 5-22.



Muro pantalla de 0,80 m. de espesor
ejecutado con sistema hidrofresa y
cuchara bivalva.

GRUPO TERRATEST, CIMYSON, I.CO.S., S.A.

Paso inferior en el Pa-
seo Marítimo de Vigo.
Proyecto "Abrir Vigo al
mar" (Pontevedra)

OFICINAS CENTRALES:
Alcalá, 65 - 4º - 28014 Madrid
Teléfs. 577 71 40 - 577 71 50
Telex: 22038 GROUTE
Fax: 576 88 58