**DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS CARGAS
TRANSPORTADAS POR LOS VEHÍCULOS PESADOS
MEDIANTE PESAJE DINÁMICO**

Tesis Doctoral

PROGRAMA DE DOCTORADO: Sistemas de Ingeniería Civil

Director de la Tesis: Jose M^a Pardillo Mayora

Autor: Jesús M^a Leal Bermejo

Junio de 2018

Índice

1.	Antecedentes	19
2	Objetivos y metodología de investigación	24
2.1	Objetivos de la Tesis	24
2.2	Metodología de investigación	27
3	Definiciones sobre el tráfico pesado, su composición y sobre las características de los vehículos pesados	32
3.1	Definiciones en relación con los ejes de los vehículos pesados.....	32
3.2	Definiciones en relación con los vehículos.....	34
3.3	Limitaciones legales de los pesos totales, pesos por eje y dimensiones de los vehículos pesados.	36
4	Situación de la técnica en el campo de la toma de datos del tráfico, la clasificación de vehículos y la estimación de las cargas transportadas	41
4.1	Técnicas de recogida de datos del tráfico y de las características de los vehículos ...	41
4.1.1	Detectores de tubo neumático	42
4.1.2	Detectores de lazo de inducción	43
4.1.3	Sensores magnéticos.....	43
4.1.4	Sensores piezoeléctricos	44
4.1.5	Cable de fibra óptica	45
4.1.6	Otros sensores de presión.....	45
4.1.7	Sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo	46
4.1.8	Detectores de radar y microondas.....	47
4.1.9	Detectores ultrasónicos	48
4.1.10	Detectores por infrarrojos.....	49
4.1.11	Sensores acústicos pasivos.....	50
4.1.12	Sistemas de pesaje en movimiento.....	51
4.1.13	Ventajas e inconvenientes y aplicabilidad de cada tecnología para su empleo en la clasificación de vehículos y en la medida de pesos y cargas	52
4.2	El pesaje de vehículos en movimiento o pesaje dinámico	57
4.2.1	La tecnología del pesaje dinámico	57
4.2.2	Aplicaciones del pesaje en movimiento	59
4.2.3	Datos que proporciona un sistema de pesaje dinámico	61
4.3	Revisión de procedimientos de clasificación automática de vehículos	65

4.3.1	Cuestiones generales	65
4.3.2	Esquemas de clasificación de la Administración de las Carreteras Federales (FHWA) de EE.UU.	66
4.3.3	Esquema europeo de clasificación EURO 13	70
4.3.4	Siluetas utilizadas en España.....	73
4.3.5	Metodología para realizar una clasificación automática	79
4.3.6	Recientes desarrollos para la mejora y optimización de los procedimientos de clasificación automática	83
4.4	Revisión de trabajos e investigaciones dirigidos a estimar las cargas transportadas por los vehículos pesados	92
5	Desarrollo de los procedimientos de estimación automática	103
5.1	Desarrollo de un procedimiento automático de clasificación de vehículos mediante pesaje dinámico	103
5.1.1	Consideraciones generales.....	103
5.1.2	Procedimiento experimental específico utilizado para obtener la silueta del tráfico	104
5.1.3.	Metodología seguida para obtener la silueta del tráfico	104
5.1.4	Esquema de clasificación automática propuesto.....	108
5.1.5	Explicación de las condiciones de clasificación que se han desarrollado	118
5.1.6	Análisis detallado de los resultados para los casos de solapamiento entre las características de ciertas clases	120
5.2	Presentación y descripción del método de determinación automática del peso de las cargas transportadas por los vehículos.....	134
5.2.1	Planteamiento general del método	134
5.2.2	Exposición detallada del método de determinación automática de la carga transportada.....	136
5.2.3	Bases de datos de las taras de los vehículos	139
6	Resultados de los ensayos para la comprobación de los métodos de estimación desarrollados.....	156
6.1	Comprobación de la exactitud de la silueta obtenida automáticamente.....	156
6.1.1	Ensayos y descripción del procedimiento seguido para efectuar la comprobación	156
6.1.2	Resultados de precisión de la clasificación obtenidos en El Molar (A-1, pk. 41)	158
6.1.3	Resultados de precisión de la clasificación obtenidos en Trijueque (A-2, pk. 82)	159

6.2	Comprobación del método de determinación automática de las cargas transportadas por los vehículos pesados mediante pesaje dinámico	161
6.2.1	Ensayo de comprobación del método.....	161
6.2.2	Cálculo de la exactitud y precisión del sistema de pesaje dinámico utilizado ..	162
6.2.3	Planteamiento general de la comprobación del método de estimación de la carga transportada	164
6.2.4	Estudio de comprobación del método realizado con la muestra reducida	166
6.2.4.1	Datos y cálculos previos realizados para la comprobación.....	166
6.2.5	Estudio de comprobación del método realizado con la muestra amplia, de más de 600 vehículos pesados fotografiados.....	182
6.2.6	Comparación de los resultados obtenidos con ambas muestras.....	187
6.2.7	Análisis de sensibilidad del método de estimación del peso de las cargas transportadas	190
6.2.8	Mejora potencial del método de estimación de la carga transportada a través de utilizar unas taras medias obtenidas directamente de los pesajes en la carretera	195
6.2.9	Adaptación del procedimiento desarrollado al cálculo de los efectos de las cargas sobre los firmes.....	199
6.3	Discusión general de resultados.....	205
7	Conclusiones	213
7.1	Introducción y sentido de la investigación.....	213
7.2	Principales resultados	213
7.2.1	Tecnología de toma de datos del tráfico que se debe utilizar	213
7.2.2	Procedimiento de clasificación de los vehículos pesados	214
7.2.3	Procedimiento de estimación de la carga transportada	218
7.2.4	Comprobación de la exactitud del método.....	219
7.3	Principales aportaciones del estudio	222
7.4	Aplicabilidad de los resultados.....	223
7.5	Futuros desarrollos y líneas de investigación	224
	Referencias.....	227
	ANEJO 1	231
	DATOS REGISTRADOS DE LA MUESTRA AMPLIA DE VEHÍCULOS	231
1.	Datos registrados automáticamente por el sistema de pesaje dinámico.....	233
2.	Datos tomados visualmente por operarios o recibidos de la Dirección General de Tráfico.....	261

Tabla 1 (I). Sensores invasivos: ventajas e inconvenientes de cada tecnología.....	54
Tabla 1 (II). Sensores invasivos: ventajas e inconvenientes de cada tecnología.....	55
Tabla 2. (I). Sensores no invasivos: Ventajas e inconvenientes.....	56
Tabla 2 (II). Sensores no invasivos: Ventajas e inconvenientes.....	57
Tabla 3. Salida de datos del sistema de pesaje dinámico utilizado por el CEDEX.....	64
Tabla 4 Detalles del esquema “A” de clasificación de vehículos de la FHWA.....	66
Tabla 5 Esquema “F” de clasificación de vehículos de FHWA	68
Tabla 6 Esquema de clasificación de vehículos de FHWA modificado en California.....	69
Tabla 7 Esquema de clasificación EURO 13.....	72
Tabla 8 Clases de vehículos obtenidas visualmente.....	76
Tabla 9 Diferentes tipos de vehículos considerados visualmente, incluyendo su configuración de ejes.....	78
Tabla 10 Principales resultados, incluyendo la carga media transportada por cada clase de vehículo, obtenidos con el procedimiento semiautomático establecido en 2000-2003 por el CEDEX.....	97
Tabla 11 Valores de los diferentes parámetros medidos en El Molar para cada tipo de vehículos.....	107
Tabla 12 Condiciones de clasificación de los vehículos ligeros.....	110
Tabla 13 (I) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	111
Tabla 13 (II) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	112
Tabla 13 (III) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	113
Tabla 13 (IV) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	114
Tabla 13 (V) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	115
Tabla 13 (VI) Condiciones de clasificación de los vehículos pesados.....	116
Tabla 14 Resumen de condiciones de clasificación para los diferentes tipos de vehículos pesados, expresadas en formato lógico.....	117
Tabla 15 Valores promedio de las taras de los distintos tipos de camiones registrados en la muestra visual de la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 realizada por el CEDEX.....	141
Tabla 16 Taras medias de cada tipo de vehículo obtenidas en la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera de 2013.....	143
Tabla 17 Datos que aparecen en el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico sobre cada vehículo.....	144
Tabla 18. Correspondencia entre las diferentes clases de vehículos definidas en el Registro General de Vehículos por su masa máxima admitida (MMA) con las clases definidas por su número de unidades (vehículos) independientes (rígido, tractor+semirremolque, rígido+remolque), y número de ejes.....	146
Tabla 19 Taras medias de cada tipo de vehículo definido según su masa máxima admitida (Registro General de Vehículos) y según el esquema de clasificación típico propuesto.....	147
Tabla 20 Valores de las taras y otras características de los camiones nuevos en España.....	150

Tabla 21. Diferentes tipos de carrocerías para semirremolques y remolques, y rangos de taras de cada una de ellas.....	151
Tabla 22. Antigüedad de los vehículos en la campaña de pesaje del CEDEX realizada entre 2000 y 2003	152
Tabla 23. Taras medias y dispersiones de las taras para los distintos tipos de vehículos según la campaña de pesaje dinámico del CEDEX 2000-2003, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del 2013 y el Registro General de Vehículos de 2017.....	154
Tabla 24. Resultados de comparación de la clasificación visual con la automática en la estación de El Molar (A-1, pk 41).....	158
Tabla 25. Resultados de comparación de la clasificación visual con la obtenida automáticamente en ensayo realizado en Trijueque (A-2, pk 82).....	160
Tabla 26 Errores relativos del sistema de pesaje dinámico obtenidos en el experimento.....	164
Tabla 27. Tabla de datos iniciales del ensayo de Trijueque: pesos estático, dinámico y tara registrada de cada uno de los vehículos de la muestra.....	167
Tabla 28. Valores obtenidos del “Peso real de la carga transportada” y del “Peso dinámico real de la carga transportada”, en el ensayo realizado en Trijueque	170
Tabla 29. Cálculo de la “Carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias obtenidas en la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 del CEDEX y determinación del error de esta estimación.....	171
Tabla 30. Cálculo de la “Carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera de 2013 y determinación del error de esta estimación.....	172
Tabla 31. Cálculo de la “Carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias del Registro General de Vehículos de 2017.....	173
Tabla 32. Ordenación de los vehículos según el valor del error relativo en la estimación del peso de la carga transportada y causas de los errores grandes.....	176
Tabla 33. Resultados de clasificación automatizada de los vehículos de la muestra reducida que fueron pesados en una báscula estática.....	180
Tabla 34. Determinación del error en la determinación de la carga total transportada debido a la clasificación errónea de algunos vehículos	182
Tabla 35. Resultados obtenidos en la clasificación visual y automática de la muestra amplia de vehículos fotografiados.....	185
Tabla 36. Cargas totales transportadas por todos los vehículos de la muestra amplia que han sido estimadas utilizando el procedimiento desarrollado.....	186
Tabla 37. Comparación de la exactitud en la determinación de las cargas transportadas en ambas muestras.....	189
Tabla 38. Cálculo del error en la estimación de la carga total transportada con una calibración correcta (error relativo medio de los pesos nulo)	192
Tabla 39. Comparación de los valores de varios percentiles de los pesos registrados en báscula con las taras medias reales y las taras medias provenientes de tres fuentes de datos diferentes (Campaña CEDEX, EPTMC y Registro General de Vehículos).....	198

Tabla 40.	Factores de equivalencia calculados en el ensayo con los datos de los pesajes estáticos.....	202
Tabla 41.	Factores de equivalencia calculados en el ensayo con los datos de los pesajes dinámicos.....	203
Tabla 42.	Resumen de las taras medias de cada tipo de vehículos según la Campaña de pesaje dinámico del CEDEX en la RCE entre 2000 y 2003, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera del año 2013 y el Registro General de Vehículos de 2017.....	206
Tabla 43.	Resumen de las estimaciones de las cargas transportadas por los vehículos de la muestra reducida en Trijueque, según las tres bases de datos de taras y error cometido en cada una de ellas	208
Tabla 44.	Comparación de los valores de las taras estimados con el peso medio de los vehículos por debajo del percentil 5 de los pesos registrados para cada tipo de vehículos, con los valores reales y con los valores medios del Registro General de Vehículos.....	211
Tabla 45.	Comparación de los factores de equivalencia obtenidos con pesajes dinámicos y estáticos.....	212

<u>Lista de figuras</u>	<u>Pág.</u>
Figura 1. Tipos de ejes múltiple de los vehículos pesados.....	33
Figura 2. Tipos de eje en cuanto al número de ruedas en sus extremos.....	33
Figura 3. Envoltentes de las líneas de influencia de las cargas de dos ejes individuales en función de la separación entre ambos.....	34
Figura 4. Configuración típica de un camión rígido de 2 ejes.....	35
Figura 5. Configuración típica de un vehículo articulado de 5 ejes.....	36
Figura 6. Configuración de un tren de carretera de 4 ejes.....	36
Figura 7. Componentes del sistema de pesaje dinámico utilizado en los ensayos realizados en El Molar y en Trijueque.....	63
Figura 8. Aspecto del sistema de pesaje dinámico utilizado, con su configuración normal en la carretera y camión utilizado en la calibración del sistema.....	63
Figura 9. Esquema F de clasificación de la FHWA (EE.UU.).....	68
Figura 10. Aspecto de la huella inductiva de lazo de un vehículo articulado de 5 ejes de caja cerrada, obtenida con los lazos de inducción de un sistema de pesaje dinámico	85
Figura 11. Distribución de frecuencias de los pesos de los vehículos articulados de 5 ejes (tipo 3S2) en las carreteras interestatales de Estados Unidos.....	93
Figura 12. Distribución de frecuencias de los pesos de los ejes tandem de los vehículos articulados en las carreteras nacionales de Sudáfrica.....	94
Figura 13. Imagen esquemática de las distribuciones de peso de los vehículos que circulan cargados y de los vehículos que van vacíos.....	95
Figura 14. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las longitudes de los camiones de 2 ejes y de los autobuses de 2 ejes.....	121
Figura 15. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las separaciones entre los dos ejes de los camiones de 2 ejes y de los autobuses de 2 ejes.....	122
Figura 16. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las separaciones entre el primer y el segundo ejes de los camiones de 3 ejes y de los autobuses de 3 ejes.....	124
Figura 17. Comparación entre las distribuciones de las distancias entre el primer y el segundo eje de los articulados de 4 ejes y de los trenes de 4 ejes con tandem trasero.....	125

Figura 18. Comparación entre las distribuciones de las longitudes de los articulados de 4 ejes y de los trenes de 4 ejes con tandem trasero.....	126
Figura 19. Comparación entre las distribuciones de la distancia entre los ejes 2º y 3º en los articulados de 4 ejes y en los articulados de 5 ejes.....	128
Figura 20. Comparación de las distribuciones de peso de los articulados de 4 ejes con la de los articulados de 5 ejes que circulan con el tercer eje elevado.....	129
Figura 21. Comparación de las distribuciones de longitud de los camiones rígidos de 2 ejes y de los rígidos de 3 ejes.....	130
Figura 22. Comparación de las distribuciones de distancia entre los dos ejes apoyados en el pavimento de los camiones de 2 ejes y de los de 3 ejes con el tercer eje levantado.....	131
Figura 23 Comparación de las distribuciones del peso total del vehículo para camiones de 2 ejes y camiones de 3 ejes con un eje levantado.....	132
Figura 24 Variación de las cargas de un vehículo a diferentes velocidades.....	135
Figura 25 Frecuencias absolutas de los distintos intervalos de errores relativos en la determinación del peso de la carga transportada por todos los vehículos de la muestra.....	175

Resumen de la Tesis

DETERMINACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS CARGAS TRANSPORTADAS POR LOS VEHÍCULOS PESADOS MEDIANTE PESAJE DINÁMICO

El objetivo de la Tesis es elaborar un procedimiento para determinar de forma totalmente automatizada el peso de la carga transportada por los vehículos pesados mientras circulan por la carretera a su velocidad normal de recorrido, sin necesidad de que intervenga ningún operador. Para conseguir esto, se justifica en el texto que, de todas las técnicas existentes de recogida de datos del tráfico, la única que puede proporcionar los datos adecuados es el pesaje dinámico o pesaje en movimiento de vehículos (más conocido por su siglas en inglés WIM –Weigh-in-Motion-).

El procedimiento desarrollado para la determinación automática de la carga transportada consiste en restar del peso total del vehículo, que es proporcionado automáticamente por un sistema de pesaje dinámico instalado en la carretera, un peso en vacío o tara del vehículo, cuyo valor es, en principio, desconocido, pero que se puede aproximar asignando a cada vehículo la tara media del tipo de vehículo en que puede ser clasificado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico. Con este objetivo, para determinar automáticamente el tipo de vehículo que pasa sobre el sistema de pesaje dinámico, ha sido preciso elaborar un procedimiento de clasificación basado principalmente en la longitud del vehículo, en el número de ejes de éste, en las distancias entre cada dos ejes y, aunque en casos especiales de difícil diferenciación entre tipos de vehículos muy semejantes se ha debido acudir a otros parámetros adicionales, como el peso total del vehículo.

Una vez que el vehículo ha sido pesado dinámicamente y clasificado, se le asigna la tara media del tipo de vehículo de que se trate. Para ello, se han estudiado las taras medias proporcionadas por tres bases de datos de características de los vehículos: la de la campaña de pesaje dinámico en la Red de Carreteras del Estado realizada por el CEDEX, la de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera y la del Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico. Además se han estudiado las taras de los vehículos nuevos proporcionadas por los fabricantes de vehículos, remolques y semirremolques, que sirven para establecer tendencias futuras.

Después de elaborar el procedimiento de determinación de las cargas transportadas, se ha realizado un ensayo en la carretera para determinar su exactitud al aplicarlo a una muestra real del tráfico pesado y así comprobar su validez. Para ello, se ha pesado estáticamente una muestra de 30 camiones y se han obtenido las taras reales de los vehículos de esta muestra y de otra mucho más amplia, de más de 600 vehículos. Estas taras reales se han utilizado para calcular las cargas reales transportadas, que se comparan con las cargas estimadas utilizando las taras medias asignadas.

Los resultados de comparación de las cargas transportadas proporcionadas por el procedimiento elaborado en esta Tesis con las cargas reales transportadas por los vehículos muestran que muchas veces se cometen errores bastante grandes al estimar la carga de cada vehículo individual, por lo que no podría aplicarse el método desarrollado para determinar la carga de cada vehículo, pero en cambio, los errores son bastante reducidos cuando se trata de determinar la carga transportada por un conjunto más o menos grande de vehículos, como el que podría ser el del tráfico pesado total que circula por una carretera, obteniéndose unos errores totales de entre el 12% y el 15% según la base de datos de taras elegida. Además, si descuenta en estos errores la parte debida al sesgo del sistema de pesaje dinámico (aspecto que se podría corregir con una calibración adecuada), resulta que la componente del error debida a las simplificaciones del método está entre el 4% y el 6%, lo que demuestra su validez.

Este método aproximado de determinación del peso de la carga transportada por un conjunto de vehículos permitiría obtener una estimación bastante precisa de un dato fundamental en economía del transporte, las t-km transportadas, que constituyen un indicativo fundamental de la actividad económica de un país.

Summary

AUTOMATIC DETERMINATION OF THE WEIGHT OF THE LOAD CARRIED BY HEAVY VEHICLES USING WIM TECHNIQUES

The purpose of this Doctoral Thesis is to develop a procedure for a totally automated process of estimating the weights of the loads transported by heavy vehicles as they travel on the road at their usual speed without the participation of any operator. To achieve this goal, it is proved that, among all the traffic data acquisition techniques, weigh-in motion (WIM) of road vehicles is the only one that can provide the necessary data.

According to the procedure for estimating the transported load that has been developed, the weight of the transported load by a heavy vehicle can be calculated as the difference between the vehicle's total gross weight, provided by the WIM system installed on the road, and its tare weight (i.e. its vehicle curb weight), whose value is, in principle unknown, but that can be approximated by assigning the average curb weight of the vehicle type to which each specific truck is automatically classified by the WIM system.

With this objective, a procedure for the automatic classification of vehicles has been elaborated, in order to determine the type of vehicle that has passed over the WIM system. This procedure is based on the number of axles of each vehicle, the separation between axles and vehicle length, although in special cases in which it is difficult to distinguish between two specific vehicle types, other additional parameters have been considered, such as the vehicle gross weight.

Once the vehicle gross weight has been measured by the WIM system, the average curb weight of the vehicle type to which each specific truck is automatically classified by the WIM system is assigned to that specific truck. Three different sources of vehicle tares have been studied: the last Weighing Campaign in the National Road Network conducted between 2000 and 2003 by CEDEX, the Road Transport Permanent Survey conducted by the Road and Railway Transport Directorate and the Vehicle General Registry of the Traffic Directorate. In addition to those sources, characteristics of the

new heavy vehicles have been studied, which have been provided by truck and trailer manufacturers. These data are used to establish future vehicle tare trends.

Once the procedure for the automatic determination of transported loads has been prepared, a test on the road has been conducted in order to check the accuracy of the procedure for estimating the transported load, when it is applied to a real heavy traffic sample, so that it can be validated.

In this trial, a sample which consists of 30 trucks has been statically weighed and their curb weights (tares) have been collected as well as those of a larger sample of more than 600 heavy vehicles.

The estimates of the transported loads by the vehicles of these two samples have been determined using the procedure developed in this Thesis, and they have been compared with the real loads transported by the same trucks. The comparison of both values (the estimated load and the real one) for each truck gives the error of the procedure. The results obtained show that in many cases large errors have been obtained, which means that the procedure cannot be applied to obtain the transported load of each specific vehicle. However, the errors of the estimates of the load carried by a group of heavy vehicles (such as, all the vehicles that make up the traffic of a certain road) have also been calculated using this simplified procedure and the total error values obtained range from 12% to 15%, depending on the curb weight database used, which can be considered rather moderate. Moreover, if error component due to the bias of the WIM system is removed (which could be corrected with an appropriated calibration), the results show that the error component due to the simplified assumptions of the procedure ranges between 4% and 6 %, which proves the procedure validation.

This approximated procedure for determining the weight of the transported loads by a group of vehicles enables an accurate estimate of an important transport economy data, such as the amount of t-km transported, to be obtained, which are a fundamental indicator of the economic activity of a country.

1. Antecedentes

El conocimiento del tráfico y del transporte por carretera es básico para el planeamiento, proyecto y explotación de las redes viarias, así como un indicador de la actividad económica general de un país. Para determinar y comprender las características del tráfico y el transporte es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras, habiéndose desarrollado un amplio abanico de técnicas de medición y metodologías de análisis, que tienen por objetivo obtener unos datos suficientemente seguros a un coste razonable.

Las principales características del tráfico que suele ser necesario estudiar son las intensidades de circulación y las velocidades, a las que hay que añadir la composición del tráfico por tipos de vehículo, el tiempo de recorrido de los vehículos y el origen y destino de los viajes. En cuanto al transporte por carretera, también son importantes todas las que se acaban de enumerar para el tráfico en general, pero dirigidas específicamente a captar la información de los vehículos comerciales en particular, así como otras más específicas de esta actividad, como pueden ser el tipo y magnitud de la carga transportada por los vehículos y las clases de vehículos (*silueta*) con las que se realiza el transporte. El conocimiento de estas características se encuentra muy ligado a su metodología de medición y estimación o análisis, teniendo en cuenta en cada caso los medios de los que se dispone y la precisión y el coste del estudio.

Para la medición de las distintas variables del tráfico se han aplicado y desarrollado diferentes tecnologías. Así, para conocer las intensidades de circulación es necesario contar o aforar los vehículos que pasan, lo que se puede realizar de forma manual (visual) mediante operarios, lo que proporciona resultados de gran fiabilidad pero que solo es aplicable para cortos lapsos, o también mediante la utilización de sistemas automáticos, cuya fiabilidad es variable, pero que permiten realizar las mediciones de forma continua durante periodos largos a un coste razonable. Entre los métodos automáticos para aforar vehículos se pueden citar los detectores de tubo neumático, que son apropiados para estudios de corta duración (aunque mayor en todo caso que las de los operadores manuales), los lazos de inducción magnética, los detectores magnéticos, los piezoeléctricos y otros sensores de presión, los procedimientos de análisis de imágenes de video, el radar de microondas, los sensores por infrarrojos, los detectores por ultrasonidos y los sensores acústicos pasivos.

Casi todas las tecnologías mencionadas, cuyos fundamentos se describirán posteriormente en este documento, sirven también para medir la velocidad de los vehículos y algunas de ellas también su longitud, lo que sirve para obtener una clasificación de estos, dividiéndolos, al menos, entre ligeros y pesados. Esto permite su utilización tanto para planificar una carretera como para la gestión de la circulación en ella, para lo que es necesario conocer al menos las intensidades medias diarias equivalentes de vehículos ligeros, que se determinan a partir de la composición del tráfico, distinguiendo al menos entre vehículos ligeros y pesados. Si se requiere

obtener una composición más detallada del tráfico, en la que se pueda diferenciar, como mínimo, entre las diferentes clases principales de vehículos de transporte (rígidos, articulados y trenes de carretera), todavía se puede lograr una clasificación en tres o cuatro tipos de estos, basada en la medida de la longitud a través de los lazos de inducción magnética.

Por su parte, los sistemas de pesaje dinámico, permiten conocer además de estas dos variables, otras adicionales, como son los pesos de cada eje de un vehículo y su peso total, así como las distancias entre ejes, lo que se ha venido utilizando desde hace décadas para el proyecto, gestión y conservación de los firmes. Esto requiere, por un lado, una clasificación de vehículos más afinada, en la que se puedan distinguir los diferentes tipos de vehículos pesados según su número de ejes, ya que estos son los que definen las acciones sobre el firme de la carretera y, por otro lado, se necesita conocer la magnitud de la carga impuesta por cada uno de estos ejes.

Un aspecto relacionado con lo anterior es la gestión viaria a través del cobro de peajes, que puede optimizarse si se hace en función del peso de los vehículos, lo cual tiene su razón de ser en que el deterioro de los firmes es debido casi totalmente a la acción de los vehículos pesados, y proporcional (con una relación exponencial) a su peso, por lo que sería natural cobrar más a los vehículos más pesados por el uso de la vía. Para ello se pueden utilizar sistemas de pesaje en movimiento normales (o de baja velocidad si se requiriera mucha precisión) situados en las áreas de peaje de las autopistas o, también, más modernamente, para sistemas de peaje en sombra o de peaje electrónico sin necesidad de que se detengan los vehículos, utilizando sistemas de pesaje dinámico de alta velocidad que funcionen conjuntamente con cámaras dotadas de sistemas de reconocimiento de matrículas.

Existe hoy en día una preocupación creciente en determinar las emisiones de los vehículos, que en los camiones dependen entre otros factores de las cargas, para lo cual también se precisa medirlas en la carretera. Estos estudios, aún no muy desarrollados, son útiles también para el dimensionamiento de la ventilación en los túneles.

Entrando de lleno en el campo del transporte por carretera, de gran importancia por su incidencia no solo viaria, sino sobre la actividad económica general, la información que suele interesar obtener es, tal como se ha comentado, el origen y destino de los viajes con vistas a la planificación tanto de las vías de enlace entre nodos como de los terminales y las instalaciones de carga y descarga, además de la tipología de vehículos utilizados y la determinación del peso y naturaleza de la carga transportada. Para determinar el origen y destino de los vehículos de transporte se ha recurrido tradicionalmente a las encuestas, ya sea en la misma carretera o centro logístico, o las enviadas al domicilio de los transportistas, con las cuales se puede obtener información sobre muchas otras cuestiones aparte del origen y destino: frecuencia de los viajes, rutas seguidas, aspectos empresariales tales como quién es el propietario del vehículo, tipo de mercancía transportada, etc.

Hoy en día para conocer algunos de estos datos se utilizan los dispositivos GPS de posicionamiento global, las tarjetas RFID (Radio Frequency Identification) de identificación por radiofrecuencia y los lectores de matrículas, que pueden

proporcionar el rastreo del origen y destino de los vehículos y estadísticas de funcionamiento para subgrupos de la población de camiones, pero no dar información sobre su estado de carga (vacío, a media carga, lleno) ni el peso ni el tipo de la carga transportada. Por otro lado, existen preocupaciones significativas de privacidad y de coste que limitan su disponibilidad.

Un ejemplo destacable de las encuestas domiciliarias es la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC), que es un estudio llevado a cabo por la Subdirección General de Estudios Económicos y Estadística del Ministerio de Fomento, basado en las respuestas que proporcionan por correo los propios transportistas e incluye datos muy detallados sobre el tipo de los camiones, su peso medio, los kilómetros anuales recorridos por el camión, y el tipo y peso de la mercancía transportada. No obstante, debido a que son los propios transportistas los que proporcionan los datos, los resultados **pueden estar sesgados** en algunos aspectos, **como es el peso de la mercancía transportada**, pues a ninguno de ellos le interesa declarar que circulan sobrecargados o que transportan cantidades grandes de mercancía, por la influencia que ellos piensan que podría tener, por ejemplo, en el pago de impuestos.

Por las razones que se acaban de exponer, se ha considerado que en este campo existen lagunas de información y conocimiento que podrían ser abordadas con una investigación práctica basada en la utilización de sistemas y procedimientos que sean capaces de aportar datos suficientemente precisos y no sesgados sobre las proporciones de los distintos tipos de vehículos y los pesos de estos, que permitirán conducir a la estimación del peso de la carga transportada por los vehículos comerciales.

En lo relativo a la información sobre la carga transportada por los vehículos, existen dos aspectos netamente diferenciados:

- Estimar el estado de carga de cada vehículo individual y el peso de la carga transportada por éste, a efectos de transacciones comerciales, especialmente en los entornos de puertos, aeropuertos y centros logísticos y de carga.
- Obtener información estadística del transporte, para el conocimiento específico de sus principales características, como son determinar las toneladas transportadas en una cierta carretera, corredor o en los principales centros generadores de mercancías (centros logísticos), comprender mejor la actividad de los vehículos comerciales, conocer el origen y destino de las mercancías, etc.

Para satisfacer estas necesidades de datos, no solo es necesario conocer el número de vehículos pesados, lo que puede ser proporcionado fácilmente por cualquier sistema de aforo basado en lazos de inducción, sino que se precisa determinar de una forma bastante precisa y detallada los siguientes aspectos de los vehículos de transporte:

- el tipo de vehículos que realiza cada actividad de transporte específica
- el peso de los vehículos y sus cargas por eje
- el peso en vacío (o tara), con objeto de calcular el peso de la carga transportada.

La única tecnología que puede proporcionar estos datos sobre grandes muestras de vehículos y de forma continua es el pesaje dinámico o en movimiento. Hay que decir que en la última campaña de pesaje dinámico efectuada por el CEDEX, que fue llevada a cabo entre 2000 y 2003 a petición de la Subdirección General de Planificación de la Dirección General de Carreteras, ya hubo un intento de estimar la carga transportada por los vehículos pesados mediante pesaje dinámico, pero el procedimiento que se utilizó requería la participación de observadores, principalmente para determinar la tara de los vehículos, por lo que no podía aplicarse para obtener información de forma continua sobre la carga. No obstante, este estudio podría considerarse un antecedente de la investigación desarrollada en el presente documento.

Dada la incapacidad del procedimiento mencionado para determinar las cargas transportadas de forma continua durante largos periodos de tiempo, se comenzó a pensar en aquella época que era interesante estudiar la posibilidad de desarrollar un nuevo método totalmente automatizado de estimación del peso de la carga transportada por los vehículos pesados, sin requerir la participación de personal alguno, utilizando sistemas de pesaje dinámico. Esto es a lo que se ha tratado de dar respuesta en esta Tesis. Este método totalmente automatizado se debería basar en determinar el peso de la carga transportada partiendo del peso del vehículo suministrado por el sistema de pesaje dinámico. Sin embargo, en este caso, a diferencia del estudio realizado en las campañas de pesaje, a este peso se le restará una tara asignada automáticamente por el sistema en función del tipo de vehículo de que se trate, según una clasificación automática de los vehículos proporcionada también por el sistema de pesaje.

El desarrollo y características de este método es lo que se va a exponer detalladamente en este documento. Así, tras esta introducción, se van a presentar los objetivos de la Tesis y se describirá la metodología de investigación que se ha seguido para su realización.

Después se ha valorado la situación actual de la técnica en cuanto a los sistemas automáticos de toma de datos del tráfico, entre los cuales se van a utilizar específicamente los sistemas de pesaje dinámico de vehículos. Seguidamente se trata el estado del arte tanto de los métodos de clasificación automática de vehículos como de los procedimientos que se han acometido en el mundo para estimar de forma automatizada las cargas de los vehículos.

A continuación se exponen las características principales de los procedimientos automatizados que se han desarrollado tanto para clasificar a los vehículos (lo que se conoce como determinación de la silueta del tráfico) como para estimar las cargas transportadas.

En el capítulo 6 se presentan los resultados de la exactitud de ambos procedimientos, que se han obtenido en un ensayo realizado en la carretera (concretamente en la autovía A-2, pk 82, a la altura del municipio de Trijueque), tanto en lo relativo a la determinación automatizada de la clasificación de los vehículos como en la estimación de las cargas transportadas.

Después de considerar los resultados obtenidos en el ensayo de comprobación, se han redactado una serie de conclusiones sobre los estudios realizados, con vistas a la aplicación generalizada del procedimiento de determinación automatizada de las cargas transportadas, incluyendo las principales limitaciones de este procedimiento, y proporcionando una lista de aspectos sobre los que sería de utilidad realizar investigaciones adicionales.

Por último, se incluyen en un Anejo los datos que se han registrado de todos los vehículos de la muestra amplia (más de 600) que se tomó en la carretera en el ensayo realizado en Trijueque. Estos datos se muestran en dos bloques: por un lado, se incluye toda la información registrada automáticamente por el sistema de pesaje dinámico y, por otro, se proporcionan todos los datos tomados visualmente de los mismos vehículos.

2 Objetivos y metodología de investigación

2.1 Objetivos de la Tesis

En esta Tesis se pretende elaborar un método para determinar de forma totalmente automática las cargas transportadas por los vehículos pesados mediante pesajes dinámicos y sin necesidad de tomas de datos visuales.

Las ventajas de disponer de un método automático para determinar las cargas transportadas, tanto si se trata de obtener estas cargas para cada vehículo individual como para conocer la carga total transportada por un conjunto de vehículos, pueden resumirse en las siguientes:

1. La determinación automática de las cargas transportadas por cada vehículo individual permitiría mejorar la eficiencia de las transacciones comerciales, especialmente en terminales de carga y descarga (puertos, mercados centrales, centros logísticos, etc), que posibilitaría que no se formaran colas de vehículos cuando deben ser pesados a la entrada y a la salida de estas instalaciones. Además favorecería una mejor estiba de la carga, especialmente cuando se trata de transportar contenedores por barco, repartiendo adecuadamente el peso de la carga total en los buques.
2. El estimar la carga total transportada por un conjunto de vehículos, cuando circulan por una carretera a su velocidad normal de recorrido y sin interferir el tráfico, posibilitaría mejorar el conocimiento de los flujos de mercancías transportados por una carretera, corredor o red viaria completa, así como determinar el nivel de actividad del transporte por carretera sobre grandes muestras de vehículos y, por su fuerte correlación con la actividad económica general, permitiría realizar estimaciones más ajustadas de los grandes datos estadísticos sobre este particular.

Para lograr este objetivo final de determinar la carga transportada, se ha emprendido el estudio que se describe en esta Tesis, en el que se deben alcanzar una serie de objetivos parciales que se describen a continuación.

Los objetivos parciales que se deben conseguir para estimar la carga transportada por los vehículos pesados son los siguientes:

1. Desarrollar un sistema de clasificación automática de los vehículos, que sea bastante detallado como para describir de forma unívoca el tráfico pesado de vehículos.

El desarrollo de un sistema de clasificación automática del tráfico pesado constituiría por sí solo un objetivo final, pues además de ser un medio necesario para poder determinar la carga transportada por los vehículos pesados, tiene aplicaciones propias de gran utilidad para la gestión del tráfico y transporte.

La composición detallada o silueta del tráfico es uno de los datos más importantes que pueden ser obtenidos en cualquier estudio de la circulación. Generalmente, las administraciones de carreteras utilizan los datos de clasificación de vehículos para el planeamiento, proyecto, conservación y explotación viaria, tal como se describe a continuación:

- En la fase de planeamiento, los datos de clasificación se emplean para determinar los parámetros de entrada relativos a la capacidad de las carreteras, así como para predecir los flujos de movimientos de mercancías, además de para realizar estudios de impacto ambiental.
- Al proyectar el firme de una carretera, los datos de clasificación aplicados en conjunción con unos datos de agresividad media por tipo de vehículo, sirven para definir los espesores de las distintas capas del firme.
- En la fase de explotación de una carretera, los datos de clasificación se usan para determinar las estrategias de control de tráfico, sin olvidar estudios relativos a la seguridad viaria, pues las diferentes clases de vehículos tienen un comportamiento diferente de funcionamiento, así como en la elaboración de estrategias de control de pesos y cargas de los vehículos.
- En cuanto al mantenimiento y conservación viarios, se emplean los datos de clasificación de vehículos de forma parecida a como se hace en el proyecto de firmes, para programar las actividades de refuerzo y rehabilitación de pavimentos en función de los vehículos pesados que hayan circulado sobre una sección concreta durante un tiempo determinado o, si la clasificación es más afinada, según los camiones de cada tipo, en conjunción con su factor de equivalencia medio, que hayan pasado sobre tal sección.

Normalmente, cada país recoge y analiza los datos de clasificación de vehículos basándose en unas pautas propias, pues las características de los vehículos pueden diferir de un país a otro, debido a que los tipos y modelos de camiones utilizados se ven muy influidos tanto por las actividades económicas (algunos tipos de camiones están diseñados para transportar cargas que son muy específicas de cada país) como por las limitaciones de pesos y dimensiones que imponen los diferentes Estados.

2. Elaborar un procedimiento de asignación automática de la tara de los vehículos en función del tipo de vehículo de que se trate, obtenido éste mediante la clasificación automática mencionada.

Uno de los aspectos más complicados para elaborar un procedimiento de estimación de la carga transportada por los vehículos pesados es establecer la tara de cada vehículo que circule sobre el sistema de pesaje en movimiento, pues éste es un dato, en principio, desconocido y que depende de múltiples factores, como son la clase y tipo de vehículo (que depende a su vez del número de unidades motoras o remolcadas que lo componen y de su número de ejes) y, además, del tipo de carrocería del

vehículo (volquete, plataforma, portacontenedor, frigorífico, etc.) según la naturaleza de la carga que transporta.

Como sería imposible determinar automáticamente y de forma unívoca la tara de cada vehículo, se tratará de estimarla de forma aproximada en función de la clase y tipo de vehículo de que se trate en cada caso, de acuerdo con el procedimiento de clasificación automática aludido en el objetivo 1. Para ello, es preciso además poseer una base de datos de las taras de los distintos tipos de vehículos, existiendo diferentes fuentes de datos de las taras de los camiones, que se estudian en el apartado correspondiente de este documento.

3. Elaborar el procedimiento de determinación de la carga transportada por cada vehículo individual, y determinar el error que se puede cometer al estimar la carga transportada utilizando este procedimiento.

Una vez conocidos el peso total en carga (partiendo del peso suministrado por el equipo de pesaje dinámico) y el tipo de vehículo de que se trata (y de éste, su tara estimada según el punto anterior), la elaboración del procedimiento de determinación de la carga transportada es bastante inmediata. Además, otro de los aspectos fundamentales es estimar el error que se comete al determinar la carga con este método automático, debido a las simplificaciones que se deben llevar a cabo para que sea practicable.

Por ello, el estudio del error que se comete al calcular la carga de esta forma frente a su valor real, y establecer si este error es asumible y en qué condiciones, es uno de los aspectos fundamentales de este punto.

4. Ampliación del procedimiento anterior de determinación de la carga de cada vehículo individual para determinar la carga total transportada por el conjunto de vehículos que constituyen el tráfico de una carretera, y determinar el error en que se incide al estimar la carga con este procedimiento.

Aunque la determinación de la carga transportada por un conjunto de vehículos no se diferencia demasiado de la estimación de la carga de cada vehículo individual, sus implicaciones exceden en mucho a aquélla. Por otro lado, es en relación a la estimación de la carga transportada por un cierto número de vehículos, donde se puede estudiar en profundidad no solo el error total cometido, sino descender adecuadamente hasta las distintas componentes de este error, que son fundamentalmente dos: la componente debida al error del aparato de medición (el sistema de pesaje dinámico) y la parte del error debida a las simplificaciones del método (la asignación de una tara distinta de la real y la posible clasificación errónea del vehículo dentro de un tipo diferente al que le corresponde realmente). El análisis de estas fuentes de error, permitirá adoptar medidas para minimizar el error total cometido.

5. Estimar la influencia que pueden tener ciertas circunstancias variables o condiciones, que es muy difícil determinar con seguridad, en el error que se puede cometer al calcular la carga transportada empleando el método automático simplificado propuesto, y de aquí estimar su validez para una aplicación generalizada.

En este documento se muestran las cifras obtenidas en el ensayo realizado para la comprobación del método de estimación de la carga transportada, pero a efectos de evaluar la posible aplicación generalizada del método, es interesante estudiar cuál habría sido el error obtenido si hubieran variado ciertos parámetros, como es la precisión del sistema de pesaje dinámico utilizado, u otras condiciones muy difíciles de controlar o de estimar con seguridad, como es la adecuación del valor de las taras medias de cada tipo de vehículo, una incorrecta calibración del equipo de pesaje utilizado o una clasificación inexacta de los vehículos. Para ello se realizará un análisis de la sensibilidad del método ante la variabilidad o la incertidumbre de los anteriores parámetros.

2.2 Metodología de investigación

La metodología de investigación inicialmente prevista para llevar a cabo los trabajos de esta Tesis consistía en aprovechar primeramente, como base, el conocimiento del tráfico pesado y la experiencia previa de toma y tratamiento de datos de clasificación y pesaje dinámico de vehículos llevada a cabo en la última campaña de pesaje dinámico de vehículos efectuada entre 2000 y 2003, junto con la consideración de los aspectos novedosos obtenidos de una revisión del estado actual de la técnica en estas cuestiones. Seguidamente, teniendo en cuenta el conocimiento actualizado obtenido de la revisión del estado del arte en este dominio técnico, se iban a desarrollar unos procedimientos totalmente automatizados de clasificación de los vehículos y, aprovechando esta clasificación automatizada, un método de estimación de las cargas transportadas por los vehículos pesados.

Una vez elaborada una versión inicial de los anteriores métodos de estimación automatizada, se iba a proceder a realizar una primera toma de datos en la carretera (que tuvo lugar en noviembre de 2014 en la autovía A-1, pk. 41, a la altura del municipio de El Molar) para tener en cuenta las características de los vehículos pesados que circulan actualmente por la red de carreteras y, por otro lado, para depurar los procedimientos desarrollados. Finalmente, se iba a proceder a realizar una segunda toma de datos en la carretera (que tuvo lugar en junio de 2015 en la autovía A-2, pk 82 en Trijuque (Guadalajara)), que serviría para realizar una comprobación de la exactitud y ajuste de los métodos desarrollados y verificar su adecuación a los objetivos previamente definidos.

Sin embargo, fue preciso modificar ligeramente esta metodología prevista, debido a que en la realización de la toma de datos en la A-1, surgieron los siguientes problemas:

- El procedimiento previsto para comprobar la adecuación de las taras de los vehículos a las taras reales era tomar visualmente estas últimas de la chapa lateral de los camiones (en la que se incluye su tara y su masa máxima autorizada), tal como se había hecho en las tomas de datos visuales llevadas a cabo en la última campaña de pesaje y en otras campañas anteriores. Sin embargo, habiendo transcurrido más de 10 años de la realización de aquellas campañas, se comprobó que, desafortunadamente, la mayor parte de los camiones (especialmente de los vehículos articulados) ya no tenía la chapa lateral en la que figuraba el dato de la tara, con lo cual no podían obtenerse los datos de referencia de éstas mediante las tomas de datos visuales para comprobar la bondad de la estimación.
- Como se preveía que podían surgir problemas de este tipo, debido al largo periodo de tiempo en que no se había realizado tomas de datos alternativas, se tomó la matrícula de los camiones que iban a servir de comparación, con objeto de solicitar a la Dirección General de Tráfico las taras reales de estos vehículos. Sin embargo, mediante este procedimiento sólo se pudo conseguir la tara de los vehículos rígidos, pues con la matrícula de la cabeza tractora solamente no se podía conocer la tara de los remolques y semirremolques de los vehículos articulados y trenes de carretera, que poseen su propia matrícula. Uno de las razones por las que no se tomaba esta matrícula (cuyo fondo es de color rojo, en vez de blanco como la matrícula de los vehículos rígidos y las cabezas tractoras) era la dificultad de identificarla visualmente según pasaba el camión a velocidades de entre 80 y 90 km/h, pues los números negros de la matrícula destacan poco frente a su fondo rojo.
- Por último, debido a las adversas condiciones meteorológicas durante la semana de toma de datos (finales de noviembre), se produjo la rotura de los dispositivos de sujeción de alguno de los sensores de peso (esteras capacitivas) al firme de la calzada, por lo que se perdieron parte de los datos de algunos días en dos de los carriles.

Debido a todos estos problemas, sólo pudo utilizarse la toma de datos de El Molar para depurar el procedimiento de clasificación desarrollado, pero no para verificar la precisión en la estimación de las cargas transportadas. Sin embargo, se aprovechó la experiencia fallida en la toma de datos de las taras para corregir el plan de experimentación que se iba a llevar a cabo en la segunda de las tomas de datos, realizada en la A-2 en Trijueque (Guadalajara).

Así, en primer lugar, como se vio que era imprescindible tomar las matrículas rojas de los remolques y semirremolques, se decidió fotografiar la matrícula de todos los camiones que pasaban sobre el sistema de pesaje durante la toma visual de datos con observadores, de forma que con ello, además de obtener con total fiabilidad las matrículas roja y blanca, se disponía de la configuración exacta del vehículo (incluido otro dato muy importante: si el camión llevaba algún eje levantado sobre el pavimento o no), información de gran utilidad a efectos de comprobación en los listados de las salidas del equipo de pesaje dinámico. De esta forma, los datos de las matrículas de

más de 600 camiones fueron enviados a la Dirección General de Tráfico para que proporcionaran la tara y masa máxima autorizada de los vehículos correspondientes, datos que fueron remitidos por la DGT a finales de marzo de 2016.

Por otro lado, con objeto de tener una seguridad total de que se iban a tener de forma rápida los datos de las taras y el peso estático (real) de al menos una pequeña muestra de vehículos, se decidió realizar las gestiones oportunas para implicar a la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil en la toma de datos, previa petición a la Subdirección de Inspección del Transporte de la Dirección General del Transporte Terrestre del Ministerio de Fomento, pues sus agentes son los únicos que pueden ordenar a los camioneros que se desvíen para su pesaje estático.

Este pesaje se efectuó en una báscula fija situada unos 500 m corriente abajo del tráfico, en el pk 81 de la A-2, en las cercanías de Trijueque. Con ello, se dispuso casi instantáneamente de los datos necesarios (pesos estáticos, taras reales, etc) para la comprobación del procedimiento de estimación de las cargas transportadas mediante una pequeña muestra de unos 30 camiones.

Teniendo en cuenta lo que se ha explicado y después de las vicisitudes descritas, la **metodología de investigación llevada finalmente a cabo** para elaborar el procedimiento totalmente automatizado de determinación de las cargas transportadas por los vehículos pesados, objeto de esta Tesis, se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) Consideración de los trabajos realizados en la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 para determinar la carga transportada por los vehículos pesados de forma parcialmente automatizada, pues se basaba todavía en la toma de datos visuales por parte de operarios situados en los márgenes de la carretera.
- 2) Realización de una revisión bibliográfica sobre los avances surgido en los últimos años tanto en el ámbito de la clasificación automática de vehículos como en la estimación automática de las cargas transportadas por los vehículos pesado mediante sistemas de pesaje dinámico.
- 3) Elaboración de un primer procedimiento de clasificación automática (conjunto de reglas de diferenciación de los diferentes tipos de camiones) de los vehículos pesados basándose en las características de los vehículos obtenidas de la muestra de la campaña 2000-2003.
- 4) Adaptación de ese primer procedimiento de clasificación automática a las características del tráfico pesado actual. Para ello se ha realizado una toma de datos de pesaje y medida de las dimensiones de los vehículos en una estación representativa del tráfico pesado nacional e internacional, que se ha llevado a cabo en noviembre de 2014 en la A-1, pk 41, a la altura del municipio de El Molar (Madrid).
- 5) Análisis de los datos recogidos en El Molar con el objetivo de adaptar los límites y umbrales de diferenciación entre los distintos tipos de vehículos a

los datos de los vehículos actuales, así como para evaluar la posibilidad de modificar o crear algunas reglas nuevas.

- 6) Recogida de información sobre las distintas fuentes de datos de taras de los vehículos. Elaboración de un procedimiento de asignación de las taras a los vehículos según el tipo a qué pertenezcan, de acuerdo con el procedimiento de clasificación automática propuesto.
- 7) Desarrollo del método de estimación de las cargas transportadas a partir de los datos de los pesajes dinámicos y de las taras asignadas a cada uno de los vehículos pesados según el tipo en el que sean clasificados automáticamente con el procedimiento anterior.
- 8) Realización de una toma de datos de pesajes en una autovía de la Red de Carreteras del Estado, cuyo tráfico sea representativo del tráfico pesado nacional e internacional, con objeto de evaluar la precisión del procedimiento de clasificación automática de los vehículos desarrollado y, asimismo, evaluar el error que se comete al estimar las cargas transportadas por los vehículos pesados mediante la utilización del procedimiento de estimación de las cargas desarrollado. Esta toma de datos de comprobación se ha realizado en la A-2, pk 82, a la altura del municipio de Trijueque (Guadalajara) en junio de 2015.
- 9) Realización de un análisis de sensibilidad del procedimiento desarrollado para la estimación de las cargas transportadas, respecto de algunos parámetros sobre los cuales existe alguna incertidumbre o su determinación es muy imprecisa.
- 10) Extracción de las conclusiones pertinentes sobre la aplicabilidad del método para determinar cargas transportadas mediante el empleo de sistemas de pesaje dinámico instalados en la carretera.

Con respecto al proceso de comprobación mediante ensayos (uno realizado en la A-1, pk 41, en el Molar y otro en la A-2, pk 82, en Trijueque) tanto de los métodos de clasificación automática como de estimación de la carga transportada desarrollados, es necesario explicar que estos ensayos consisten en aplicar los procedimientos automatizados elaborados sobre condiciones reales del tráfico en una carretera que se considere representativa del tráfico pesado nacional y, al mismo tiempo, se deben obtener unos datos de contraste, es decir, datos de vehículos que hayan pasado sobre el sistema de pesaje, de los cuales se conozca con total seguridad el tipo al que pertenecen y el peso real de la carga que transportan, todo ello con objeto de comparar los resultados obtenidos de la aplicación de los procedimientos desarrollados con estos datos de contraste. A este efecto, se han obtenido visualmente unos datos de contraste durante unas pocas horas, mediante un proceso que se ha denominado “muestreo visual de vehículos”.

El muestreo visual de vehículos en la carretera se ha realizado mediante unos operarios que, durante casi 11 horas en cada uno de los dos emplazamientos, han

apuntado las características de cada uno de los vehículos muestreados (o más bien, para aumentar su capacidad de registro, las han grabado utilizando la voz, y luego, en gabinete, se ha pasado toda esa cantidad de datos al papel) y han realizado fotografías sobre cada uno de los vehículos muestreados en el momento de pesar sobre el equipo de pesaje. Posteriormente en la oficina, tomando como referencia la hora de paso de cada vehículo muestreado sobre el sensor, se ha identificado al vehículo en cuestión sobre el listado registrado automáticamente por el equipo de pesaje. En concreto, las fechas y horas de toma de datos fueron las siguientes:

El Molar (A-1, pk. 41,6)

- Desde las 10:08 horas hasta las 14:00 horas del 26 de noviembre de 2014
- Desde las 15:43 horas hasta las 17:29 horas del 26 de noviembre de 2014
- Desde las 10:06 horas hasta las 14:00 horas del 27 de noviembre de 2014
- Desde las 15:54 horas hasta las 17:20 horas del 27 de noviembre de 2014

Trijueque (A-2, pk. 82)

- Desde las 16:53 horas hasta las 17:16 horas del 15 de junio de 2015
- Desde las 10:07 horas hasta las 13:50 horas del 16 de junio de 2015
- Desde las 10:06 horas hasta las 13:53 horas del 17 de junio de 2015
- Desde las 10:24 horas hasta las 13:18 horas del 18 de junio de 2015

Una vez localizado cada vehículo sobre el listado del ordenador, se añaden varias columnas más a ese listado automático para introducir manualmente las diferentes características tomadas visualmente (una columna por cada característica tomada por los operarios), obteniéndose un listado completo de la población total de vehículos registrados automáticamente. Cada vehículo con todos sus datos aparece en una línea, algunos de los cuales aparecen con datos (columnas) adicionales, que han sido recogidos visualmente y consignados manualmente (entre los cuales se encuentra su clasificación visual, el peso en báscula estática, la tara real, etc.), que podrían considerarse como verdaderos. Entonces, comparando el tipo del vehículo o la carga transportada que aparece en la columna tomada visualmente (datos “reales” o “verdaderos”) con los que se muestran en la columna de la clasificación o del peso de la carga transportada obtenidos automáticamente, se puede determinar la tasa de acierto de la clasificación automática respecto a la real (visual) o el error en la estimación de la carga transportada.

3 Definiciones sobre el tráfico pesado, su composición y sobre las características de los vehículos pesados

Para la correcta interpretación de este documento se hace imprescindible dar una serie de definiciones que aclaren determinados conceptos o términos que van a ser empleados en él. Las utilizadas para el desarrollo de los trabajos se han tomado de la de la colección Textos Legales nº 14, vigésimo primera edición (2002), editada por el Ministerio del Interior y el Boletín Oficial del Estado en materia de Tráfico, Circulación y Seguridad Vial [1], principalmente del Reglamento General de Vehículos (aprobado por R.D. 2822/1998 de 23 de diciembre) en su Anexo IX “Masas y dimensiones”; de los artículos 55, 56, 57 y 58 del Código de la Circulación de 25 de septiembre de 1934 [2], vigentes hasta la entrada en vigor del Reglamento General de Vehículos; y de las disposiciones de la Unión Europea, entre las que se puede destacar la Directiva Comunitaria 96/53/CE [3].

Otras definiciones, no contenidas en dichos textos legales, se han tomado de la Norma española 6.1-IC [4] y de la monografía C15 del CEDEX titulada “Caracterización del tráfico pesado en el dimensionamiento de firmes. El espectro de vehículos pesados en España” [5].

Definición general:

Tráfico pesado. Es el tráfico formado por los vehículos pesados que circulan sobre una carretera, incluyéndose en esta denominación todos los que, de acuerdo con el Reglamento General de Conductores (R.D. 772/1997 de 30 de mayo), tienen una masa máxima admitida (MMA) que excede de 3.500 kg y para conducirlos precisan de un permiso de conducción de la Clase C o D (+E).

3.1 Definiciones en relación con los ejes de los vehículos pesados

Los agrupaciones de ejes individuales, también conocidas como ejes múltiples de los vehículos pesados, pueden ser simples, dobles (tándem) y triples (trídem):

Eje simple. Es aquél que dista del eje más próximo una distancia igual o superior a 1,80 m.

Eje doble o tándem. Es aquel que dista del eje más próximo una distancia inferior a 1,80 m.

Eje triple o trídem. Es un conjunto de tres ejes consecutivos cuyas distancias entre centros de ejes contiguos no supera 1,40 m.

Esta clasificación se basa en la consideración de 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** o **individual** 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 **grupo de ejes** o **eje múltiple** (simple, tándem o trídem) al conjunto de ejes elementales que resulta tras la aplicación de las anteriores relaciones de distancia entre estos. Como se puede comprender, los conceptos de eje elemental y eje múltiple sólo coinciden en el caso de que este último sea simple. Gráficamente se puede visualizar según se muestra en la Figura 1.

Camión articulado de 6 ejes

Ejes elementales : 6

Ejes completos : 3

(un eje simple, uno doble y uno triple)

$r \leq 1,80 \text{ m}$

$d \leq 1,40 \text{ m}$

Figura 1 – Tipos de ejes múltiples de los vehículos pesados

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 rueda gemela** al que posee dos ruedas en cada uno de sus extremos (véase la Figura 2).

Los neumáticos, en cuanto a su anchura, pueden ser **normales** o **anchos** de baja presión, aunque en la realización del estudio no se ha considerado esta característica, por dificultades de obtención de una información fiable al respecto a través de la observación visual en la carretera y por la imposibilidad de obtenerla automáticamente por el sistema.

Figura 2 – Tipos de eje en cuanto al número de ruedas en sus extremos

Se aprecia que la carga máxima legal de un eje doble es menor que el doble de la permitida para un eje simple, y análogamente ocurre con los ejes triples. La razón de esta reducción se basa en el hecho de que en los ejes dobles y triples existe un efecto de superposición de las cargas de los ejes elementales que los forman, lo que hace que resulten más perjudiciales para el firme que si actuaran por separado.

Figura 3 – Envoltentes de las líneas de influencia de las cargas de dos ejes individuales en función de la separación entre ambos

3.2 Definiciones en relación con los vehículos

El transporte de mercancías puede realizarse en distintos tipos de vehículos, dependiendo del tipo de mercancía, de la distancia, etc. Por ello, en el Anexo II “Definiciones y categorías de los vehículos”, del Reglamento General de Vehículos [1] se clasifican los vehículos según dos criterios: construcción y utilización. Para los trabajos del estudio se ha seguido la clasificación del criterio de construcción, exponiendo a continuación las clases de vehículos considerados durante la realización de los trabajos.

Derivado de turismo. Vehículo automóvil destinado a servicios o a transporte exclusivo de mercancías, derivado de un turismo del cual conserva la carrocería y dispone únicamente de una fila de asientos.

Furgón / furgoneta. Automóvil destinado al transporte de mercancías cuya cabina está integrada en el resto de la carrocería y cuya Masa Máxima Autorizada puede ser menor, igual o mayor de 3.500 kg.

Camión. Automóvil de cuatro ruedas o más, concebido y construido para el transporte de mercancías, cuya cabina no está integrada en el resto de la carrocería y con un

máximo de nueve plazas, incluido el conductor, y cuya Masa Máxima Autorizada puede ser menor, igual o mayor de 3.500 kg.

Vehículo articulado. Automóvil constituido por un vehículo de motor (tractocamión) acoplado a un semirremolque

Semirremolque. Vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser acoplado a un automóvil, sobre el que reposará una parte del mismo, transfiriéndole una proporción sustancial de su masa.

Tren de carretera. Automóvil constituido por un vehículo de motor enganchado a un remolque.

Remolque. Vehículo no autopropulsado diseñado y concebido para ser remolcado por un vehículo de motor.

Por su parte, los camiones estudiados en esta Tesis están divididos en tres clases: rígidos, articulados y trenes de carretera.

Camiones rígidos: Tienen al menos dos ejes múltiples, uno delantero de dirección y otro trasero motor o de carga, y cada uno de estos puede estar constituido por uno o dos ejes elementales, que a su vez pueden ser de ruedas sencillas o gemelas en el eje motor. La MMA de esta clase varía en función del número de ejes elementales y del tipo de suspensión, y oscila entre 18 t para un camión de dos ejes hasta 32 t para uno de cuatro ejes.

Figura 4. Configuración típica de un camión rígido de 2 ejes, con un eje delantero (direccional) simple de rueda sencilla y un eje trasero (motriz) simple de rueda gemela

Vehículos articulados. Están compuestos por un elemento tractor y un semirremolque. Tienen tres ejes múltiples, de los cuales el de dirección siempre es un eje elemental de ruedas sencillas, el eje motor, donde descansa la parte delantera del semirremolque, puede ser un eje simple o doble, pero siempre de ruedas gemelas y, por último, el eje de carga del semirremolque puede adoptar diferentes combinaciones de uno a tres ejes sencillos, con ruedas sencillas, gemelas o ambas.

La masa máxima autorizada varía en esta clase desde 36 t a 44 t en función de las configuraciones de ejes.

Figura 5. Configuración típica de un vehículo articulado de 5 ejes, con 2 ejes en la cabeza tractora, el delantero (direccional) simple de rueda sencilla y el eje trasero (motriz) simple de rueda gemela, y tres ejes individuales de rueda sencilla, que forman un eje trídém, en la parte trasera del semirremolque.

Trenes de carretera. Los trenes de carretera (o conjunto de vehículos) pueden estar formados por cualquier tipo de vehículo tractor y uno o varios remolques pero a menudo suelen estar formados por un camión rígido y un remolque. Tienen como mínimo tres ejes completos, de los cuales el de dirección siempre es un eje elemental o sencillo de ruedas sencillas y los demás pueden tener cualquier configuración. La MMA varía, en función del número de ejes elementales, de 36 t a 44 t.

Figura 6. Configuración de un tren de carretera de 4 ejes, siendo el vehículo tractor un camión rígido de 2 ejes, el delantero (direccional) simple de rueda sencilla y el eje trasero (motriz) simple de rueda gemela, y con un remolque de 2 ejes, ambos simples de rueda gemela.

En la actualidad coexisten en circulación unos pocos vehículos pesados que se atienen a la reglamentación antigua (la del Código de Circulación de 1934) en materia de pesos máximos y otros a la nueva (la del Reglamento General de Vehículos de 1998). Los valores que se acaban de dar corresponden a la nueva. No obstante, a continuación se enumeran los límites de ambas reglamentaciones.

3.3 Limitaciones legales de los pesos totales, pesos por eje y dimensiones de los vehículos pesados.

Actualmente existen dos normativas legales diferentes a las que pueden acogerse los vehículos pesados según su fecha de matriculación, en relación con los límites de peso y dimensiones que pueden tener:

1. La de los artículos 55, 56 y 57 del Código de la Circulación de 1934.
2. La del vigente Reglamento General de Vehículos, aprobado por Real Decreto 2822/1998 de 23 de diciembre.

Esta duplicidad de normativa viene ya de la Ley 339/1990 sobre Tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, que fue aprobada el 2 de marzo de 1990. Para su

aplicación y desarrollo se aprobó mediante Real Decreto el 17 de enero de 1992 el "Reglamento General de Circulación", que entró en vigor el 15 de junio de 1992. Este Reglamento derogaba ya algunos artículos del anterior Código de la Circulación, entre ellos el 55, 56 y 57, a propuesta del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, para adaptarse en materia de pesos de ejes y vehículos y de longitudes a las Directivas de la Unión Europea y, en particular a la Directiva 91/60. Estos artículos fueron derogados mediante Real Decreto el 2 de agosto de 1991, es decir una vez aprobada la Ley pero no el Reglamento.

Las limitaciones que se establecen en los documentos mencionados son las siguientes:

Limitaciones de los Artículos 55, 56 y 57 del Código de la Circulación de 1934

Pesos de ejes

- * Eje simple 13 t
- * Eje doble 14,7 t

Conjunto de 2 ejes cuya distancia entre centros es inferior a 1,50 m. Si la distancia d entre centros de ejes es de 0,90 m, el peso sobre el eje más cargado no debe ser superior a 7,35 t (en total 14,7 t). Se podrán aumentar 700 kg de peso por cada 0,05 m de distancia superior a 0,9 m, sin que en ningún caso pueda superar las 21 t para una distancia de 1,35 m a 1,50 m.

- * Eje triple: no contemplado.

Pesos de vehículos

- * Vehículo rígido de 2 ejes 20 t
- * Vehículo rígido de 3 ejes 26 t
- * Vehículo rígido de 4 ejes 38 t
- * Vehículo articulado y conjunto de vehículos 38 t

Longitud de los vehículos

- * Vehículo rígido (cualquier número de ejes) 12 m
- * Vehículo articulado 16,5 m
- * Autobús articulado y conjunto de vehículos 18 m

Limitaciones incluidas en el "Reglamento General de Vehículos", actualmente vigente

Estas limitaciones aparecen en su **Anexo IX “Masas y dimensiones”**, en relación a los pesos y longitudes de los ejes y vehículos, y son las siguientes:

Pesos de ejes

* Eje simple motor	11,5 t
* Eje simple no motor	10 t
* Eje doble o tandem: conjunto de 2 ejes cuya distancia entre centros es inferior a 1,80 m.	
* Eje doble o tandem con separación $d < 1,00$ m	11,5 t
* Eje doble o tandem con separación : $1,00 \text{ m} \leq d < 1,30$ m	16 t
* Eje doble o tandem con separación : $1,30 \text{ m} \leq d < 1,80$ m	18 t
* Eje doble o tandem de los remolques y semirremolques con $d < 1,00$ m	11 t
* Eje triple o tridem: conjunto de 3 ejes en el que ninguna de las distancias entre centros de ejes contiguos es superior a 1,40 m.	
* Eje triple o tridem de remolque o semirremolque :	
- Si $d < 1,30$ m	21 t
- Si : $1,30 \text{ m} \leq d < 1,4$ m	24 t

Pesos de vehículos

* Rígido de 2 ejes	18 t
* Rígido de 3 ejes	25 t
* Rígido de 3 ejes (con suspensión neumática y eje motor tándem de neumáticos dobles)	26 t
* Rígido de 4 ejes	31 t
* Rígido de 4 ejes (con dos ejes direccionales, suspensión neumática y ruedas gemelas en el eje motor).....	32 t
* Articulado de 4 ejes	
(vehículo tractor de 2 ejes, siendo el eje motor de ruedas gemelas con suspensión neumática y el semirremolque con $d > 1,80$ m (es decir, el semirremolque no tiene un tándem gemelo, sino 2 ejes). (Nota: este vehículo no existe en España)	38 t
* Articulado de 4 ejes (tractor de 2 ejes y semirremolque de 2 ejes)	36 t

* Articulado de 5 o más ejes	40 t
* Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 3 ejes	44 t
* Tren de carretera de 4 ejes (2 en vehículo motor y 2 en remolque)	36 t
* Tren de carretera de 5 ó más ejes	40 t
* Remolque de 2 ejes	18 t
* Remolque de 3 ejes	24 t
* Autobuses articulados de 3 ejes	28 t

Longitud de los vehículos

* Vehículo rígido [cualquier número de ejes (camión o autobús)]	12 m
* Vehículo articulado (excepto autobuses)	16,5 m
* Tren de carretera.....	18,5 m
* Autobús rígido	15 m
* Autobús articulado	18 m
* Remolque (exclusivamente el remolque)	12 m

Transición de la normativa antigua a la actual

La puesta en práctica de los límites citados requería un periodo de adaptación, durante el cual el tráfico pesado en la carretera estaría compuesto de vehículos pesados a los que les afectaban las normas anteriores y otros vehículos a los que les afectaban las actuales.

La transición a la nueva “Ley de Tráfico, Circulación de vehículos a motor y Seguridad Vial” en materia de pesos y longitudes quedó establecida de la siguiente forma:

a) Vehículos pesados extranjeros (matriculados fuera de España)

Han de atenerse a las disposiciones de la Directiva comunitaria 91/60 contemplada en el actual "Reglamento General de Circulación", que recoge el Real Decreto aprobado el 2 de agosto de 1991. Por la misma razón, los vehículos pesados españoles que circulen por el resto de la Unión Europea deben atenerse a la misma Directiva, aunque por su fecha de matriculación puedan acogerse a la legislación anterior dentro del territorio nacional.

b) Vehículos pesados nacionales

b.1 Matriculados antes del 2 de agosto de 1991:

Se acogen a la legislación anterior. Pueden circular por todo el territorio nacional hasta dar de baja el vehículo. Tienen limitado el movimiento a itinerarios establecidos.

b.2 Matriculados entre el 2 de agosto de 1991 y el 1 de enero de 1995:

Se acogen a la legislación anterior y tienen limitación de circulación (durante 10 años) y de movimiento (tienen itinerarios establecidos).

b.3 Matriculados entre el 2 de agosto de 1991 y el 1 de enero de 1993:

Este apartado se refiere exclusivamente a los remolques de 3 ejes y a los autocares articulados de 3 ejes. Es decir, se admite la matriculación de estos dos tipos según la reglamentación anterior, hasta la fecha de 1 de enero de 1995, a partir de la cual se les aplica, a estos dos tipos de vehículos, el apartado anterior,

b.4 Matriculados después del 1 de enero de 1995:

Se rigen por el actual "Reglamento General de Circulación".

4 Situación de la técnica en el campo de la toma de datos del tráfico, la clasificación de vehículos y la estimación de las cargas transportadas

4.1 Técnicas de recogida de datos del tráfico y de las características de los vehículos

Los procedimientos de toma de datos automática del tráfico consisten en utilizar unos aparatos capaces de detectar el paso de los vehículos, registrarlos y contarlos. Así, los sistemas automáticos de aforo, en general tienen los siguientes componentes:

1. Uno o varios sensores que proporcionan al sistema las señales de la presencia o paso de un vehículo.
2. Un detector que recibe las señales de los sensores y las amplifica y/o las interpreta, y que las pasa al registrador.
3. Un registrador que realiza los cálculos básicos de los parámetros medidos del vehículo.
4. Un procesador que trata los datos básicos para presentarlos en el formato requerido.

Generalmente, los tres últimos componentes no vienen separados, sino que están incluidos en una unidad electrónica, situada en los márgenes de la carretera.

A continuación se van describir los principales tipos de detectores automáticos de aforo que se utilizan actualmente, así como de sus características más sobresalientes.

Una clasificación muy utilizada de los tipos de sensores es la que los divide en dos amplias categorías: la de los sensores que se deben introducir o colocar en el pavimento (que, por esta razón se denominan como “invasivos”) y la de los que no (“no invasivos”).

Las tipos o tecnologías de sensores que se introducen en el pavimento o se colocan sobre él son las siguientes.

- Detectores de tubo neumático
- Lazos de inducción magnética
- Sensores magnéticos
- Sensores piezoeléctricos
- Sensores de fibra óptica
- Oros sensores de presión

Por su parte, las tecnologías de señores que no se introducen en el pavimento que se utilizan actualmente incluyen las que se citan a continuación:

- Sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo

- Radar de microondas
- Sensores infrarrojos
- Sensores ultrasónicos
- Sensores acústicos pasivos

Los sensores que se introducen en los pavimentos se instalan, bien directamente sobre la superficie del firme (anclándoles directamente a la superficie, como es el caso de los detectores de tubos neumáticos o de lazos de inducción portátiles), bien practicando rozas o agujeros en la superficie del pavimento, o realizando una especie de pequeños túneles en el firme. El funcionamiento de estos sensores es muy conocido, pues representan la aplicación de tecnologías ya maduras a la vigilancia y gestión del tráfico. Los inconvenientes de su utilización incluyen las molestias ocasionadas al tráfico en su instalación y reparación, y las averías debidas, bien a su colocación en superficies del firme en mal estado, bien a la utilización de procedimientos de instalación que no cumplen las recomendaciones mínimas.

La búsqueda de una alternativa fiable y rentable de sistemas de detección y seguimiento de vehículos, que puedan instalarse y conservarse con seguridad y mínimas molestias a la circulación y que al mismo tiempo puedan proporcionar datos del tráfico al menos tan exactos como los de un lazo de inducción, ha estado en proceso durante bastante tiempo. Las evaluaciones más recientes han mostrado que los modernos sensores situados por encima de la superficie del pavimento suministran datos que cumplen las exigencias de muchas aplicaciones viarias. Los sensores por encima del nivel del terreno o sobreelevados pueden montarse por encima del carril viario cuyo tráfico están monitorizando o en los márgenes de la vía desde donde pueden tomar datos de varios carriles a la vez en ángulos perpendiculares u oblicuos a la dirección de la corriente del tráfico.

Las tecnologías utilizadas actualmente de sensores situados por encima de la superficie del pavimento son las que se han citado arriba. Además de éstas, se emplean habitualmente ciertas combinaciones de tecnologías de sensores, tales como:

- los infrarrojos pasivos y el radar de microondas
- los infrarrojos pasivos y los ultrasónicos.

Al igual que los sensores empotrados en la superficie del pavimento, los sensores situados por encima de ella pueden contar vehículos, detectar su presencia y su paso, pero, además, la mayor parte de ellos puede proporcionar la velocidad de los vehículos, su clasificación y una cobertura de detección de varios carriles y zonas de ellos.

4.1.1 Detectores de tubo neumático

Este detector consiste en un tubo neumático de goma cerrado en un extremo y colocado transversalmente sobre la calzada. Cuando pasan sobre este tubo las ruedas de los vehículos, aumenta la presión de aire en su interior, lo que hace que se cierre un contacto eléctrico, que acciona el dispositivo contador.

Este tipo de detector tiene como ventajas su bajo coste y su fácil y rápida instalación. Sin embargo, tiene el inconveniente de que sufre el impacto directo de las ruedas de

los vehículos y puede llegar a desprenderse del pavimento al cabo de pocos días de toma de datos, e incluso romperse el tubo debido a frenazos de los vehículos cuando pasan por encima. Por ello, es apropiado para instalaciones provisionales, cuando se hacen aforos de corta duración (unos días o una semana).

Por otro lado, el empleo de los tubos neumáticos tradicionales estaba limitado a los carriles exteriores, debido a que colocar un tubo único a lo ancho de más de un carril genera señales de cada carril. Algunos fabricantes han resuelto el problema haciendo tubos que tengan solo un tramo limitado que sea capaz de producir los impulsos de aire [6]. Por tanto, estos tubos son sensibles a los impulsos de cada carril y pueden utilizarse en vías de varios carriles.

4.1.2 Detectores de lazo de inducción

Desde su introducción en Estados Unidos en la década de los 60, el detector de lazo de inducción magnética se ha convertido en el procedimiento de detección más utilizado.

Los componentes principales de un sistema de detección por lazos de inducción magnética incluyen un cable eléctrico con aislamiento, al que se le dan normalmente tres o cuatro vueltas, que se coloca en una ranura o roza de poca profundidad (unos 5 cm) practicada con sierra de diamante en el pavimento y un cable de conexión que va hasta la caja o armario donde se sitúa el aparato electrónico de control.

El aparato electrónico de detección contiene un circuito oscilador de frecuencia fija que transmite la energía eléctrica propia a través del lazo. Por su parte, el sistema del lazo forma un circuito eléctrico sintonizado con un oscilador de frecuencia variable, en el cual el cable del lazo es el elemento inductivo. Inicialmente, el lazo se emplea para sintonizar el oscilador a la misma frecuencia que el oscilador del detector, de frecuencia fija. Cuando un vehículo pasa sobre el lazo o se para dentro de él, la inductancia del lazo se reduce, desequilibrando el circuito sintonizado. Esta reducción de la inductancia ocasiona un incremento en la frecuencia de oscilación del oscilador variable, lo que es reconocido por el circuito detector y se emplea para accionar un relé salida, que envía un impulso a la unidad de control, señalando que ha detectado el paso o la presencia de un vehículo [7].

Los datos proporcionados por los detectores de lazo inductivo convencionales son el paso de vehículos, la presencia, el conteo y la ocupación. Aunque los lazos no pueden medir directamente la velocidad, puede determinarse esta magnitud utilizando una instalación de 2 lazos por carril.

4.1.3 Sensores magnéticos

Este detector fue introducido en la década de los 60 como una alternativa a los detectores de lazo para situaciones particulares. Su funcionamiento se basa en la medición de la variación del campo magnético de la Tierra (conocida como anomalía magnética) que se produce cuando un cuerpo de metal ferromagnético (como es un vehículo) está cerca de su sensor.

Así, un vehículo de acero distorsiona las líneas de flujo debido a que el material ferromagnético es más permeable a las líneas de flujo que el aire. Es decir, se produce

un efecto de concentración del campo magnético terrestre, pues las líneas de flujo prefieren pasar a través del vehículo férromagnético. Según se mueve el vehículo, está siempre acompañado por una concentración de las líneas de flujo, fenómeno conocido como su “huella magnética” [8]. Una sonda magnetométrica instalada dentro del firme detecta el incremento de flujo que tiene lugar debajo del vehículo, pudiendo detectar vehículos que circulan entre 0 y 160 km/h. Esta sonda se conecta a una electrónica de amplificación.

El sensor magnético transforma los cambios en la intensidad del campo magnético terrestre (*anomalía magnética*) en variaciones de inductancia generadas en una bobina que rodea un núcleo de material magnético blando de alta permeabilidad. El cambio en la inductancia es detectado por una unidad electrónica de detección similar a la de un lazo convencional.

No obstante, la mayoría de los detectores magnéticos no pueden detectar vehículos parados, pues requieren que el vehículo esté moviéndose o cambiando las características de su huella con respecto al tiempo.

Los magnetómetros consisten en unos pequeños sensores empotrados en el firme, a una profundidad de entre 30 y 50 cm, con el tamaño y forma de una lata de bebida (un diámetro de 2,5 cm y una altura de 9 cm), un cable de conexión y un amplificador.

A diferencia del detector de lazo, el magnetómetro funciona en tableros de puente en los que existe acero y donde no se permita cortar el pavimento para la instalación de los lazos. Algunos magnetómetros pueden colocarse directamente sobre el pavimento mientras que otros se insertan dentro de conductos practicados bajo el pavimento. Este último puede realizarse perforando el pavimento desde el arcén, sin necesidad de cortar la circulación del carril.

4.1.4 Sensores piezoeléctricos

Un piezoeléctrico es un material procesado especialmente que tiene la capacidad de convertir la energía cinética en energía eléctrica. Algunos materiales poliméricos, otros de tipo cerámico e incluso el cristal de cuarzo tienen estas propiedades en un grado muy elevado y se utilizan en la construcción de sensores piezoeléctricos.

Los materiales piezoeléctricos generan un voltaje cuando son sometidos a un impacto mecánico o una vibración. El voltaje medido es proporcional a la fuerza o peso del vehículo. Como el efecto piezoeléctrico es dinámico, es decir, que sólo se genera carga cuando las fuerzas están cambiando, la carga eléctrica inicial decae si la fuerza permanece constante.

Los cables piezocerámicos pueden ser suministrados fijados con resina epoxi dentro de una acanaladura de aluminio, para asegurar que se instala sin pliegues ni curvatura. En el caso de sensores piezopolímeros, el sensor consiste en un pequeño tubo metálico hueco que incluye una lámina del polímero.

Se emplean distintos materiales para encajar y sujetar el sensor en el firme en una roza practicada en el pavimento de dimensiones iguales o menores de unos 50 x 50 mm,

con el propósito de reducir las tensiones laterales y de sellar el sensor, de forma que se adapte a las propiedades del firme en el que van insertados.

Los sensores piezoeléctricos pueden proporcionar datos de conteo de vehículos, medición de la velocidad, clasificación de vehículos a través del conteo de ejes y de su separación, y de pesaje en movimiento. Además, tienen la ventaja de que pueden detectar el paso del neumático sobre el sensor, creando una señal analógica que es proporcional a la presión ejercida sobre el sensor. Esta capacidad permite diferenciar los vehículos individuales con una gran precisión, siendo su coste sólo ligeramente más caro que un lazo de inducción.

El inconveniente más importante proviene del hecho de que deben instalarse en firmes en buen estado y sin roderas, pudiendo producirse averías en superficies viarias defectuosas. Asimismo, es ampliamente conocido que los sensores piezoeléctricos son sensibles a la temperatura del firme y a la velocidad de los vehículos (no miden a velocidades menores de unos 30 km/h).

4.1.5 Cable de fibra óptica

El empleo de la tecnología de los sensores de fibra óptica para la detección de ejes es bastante nueva y relativamente poco común en comparación con otras tecnologías invasivas.

Los sensores de fibra óptica detectan la presencia de una carga a través de medir la reducción en la transmisión óptica ocasionada por la compresión de las fibras cuando un neumático pasa sobre los sensores. Los sistemas de sensores de fibra óptica constan de un transmisor luminoso (generalmente un LED), un detector fotométrico y un equipo electrónico con su software especializado para analizar la señal, además del sensor de fibra óptica [6].

Este tipo de sensores se utilizan de forma parecida a los sensores piezoeléctricos. La longitud del sensor mismo suele ser la anchura de un carril.

Los sensores de fibra óptica son más sensibles que los tubos neumáticos, lo que les hace más exactos tanto en condiciones de velocidades muy bajas como de intensidades de tráfico muy altas. La ventaja de los sensores de fibra óptica sobre los sensores piezoeléctricos es que los primeros no son sensibles a la temperatura y que los sensores en sí mismos no conducen la electricidad, lo que hace que los aparatos que utilizan estos sensores sean menos susceptibles a los rayos y, además no tengan problemas de compatibilidad electromagnética con otros aparatos instalados en la carretera.

4.1.6 Otros sensores de presión

Además de los tubos neumáticos, los sensores piezoeléctricos y los de fibra óptica, existe una amplia gama de otros sensores de presión disponibles para su uso en instalaciones permanentes de aforo y clasificación de vehículos. Las antiguas tecnologías de interruptores (conmutadores) de presión pertenecen a esta categoría, siendo las más utilizadas los interruptores de cinta (tape switch). Todos ellos

comparten la funcionalidad básica de producir una señal eléctrica cuando la presión ocasionada al pasar un eje cierra un circuito.

Existen sensores de presión de instalación portátil, que se colocan sobre la capa superior de rodadura del firme de un carril y se sujetan mediante una cinta bituminosa. En cuanto a los sensores de presión de instalación fija o permanente en el firme, al igual que los sensores piezoeléctricos, se colocan en pequeñas rozas o ranuras cortadas en el pavimento y se fijan en el emplazamiento mediante algún tipo de resina epoxi u otro agente ligante. No obstante, a diferencia de los sensores piezoeléctricos, la mayoría de estos sensores de presión no son lo bastante sensibles como para funcionar correctamente debajo de una capa bituminosa de rodadura.

Estos sensores de presión son generalmente menos caros que los sensores piezoeléctricos, aunque su tiempo y trabajo de instalación tiende a ser muy similar.

4.1.7 Sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo

Las cámaras de vídeo fueron introducidas en la gestión de tráfico para la vigilancia de la circulación, gracias a su capacidad para transmitir imágenes de circuito cerrado de televisión (CCTV) a un operador humano para su interpretación. De ahí surgió en la década de los 70 la necesidad de una técnica alternativa para interpretar las imágenes de vídeo a través del **procesamiento de imágenes** o “**visión máquina**”.

Un sistema de procesamiento de imágenes de vídeo consta normalmente de una o más cámaras, un ordenador con microprocesadores para digitalizar y procesar las imágenes y unos programas para interpretar estas imágenes y convertirlas en datos de flujo del tráfico.

Los sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo detectan los vehículos analizando las imágenes de una escena de tráfico para determinar cambios entre fotogramas sucesivos de la película. Los algoritmos de procesamiento de imágenes que analizan las imágenes en blanco y negro examinan la variación de los niveles de grises en grupos de píxeles contenidos en los fotogramas de vídeo. Los algoritmos están diseñados para eliminar las variaciones de nivel de gris en el fondo de las imágenes causadas por las condiciones atmosféricas, sombras y dispositivos de luz diurna y nocturna, y retienen los objetos identificados como automóviles, camiones, motocicletas y bicicletas. Se calculan los parámetros analizando fotogramas sucesivos.

Se utiliza la segmentación de imágenes para dividir el área de la imagen en zonas más pequeñas, donde puedan reconocerse mejor los rasgos distintivos. Estos rasgos se analizan para generar datos de presencia de vehículos, velocidad y clasificación. Los sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo con capacidades de rastreo utilizan técnicas de filtro de Kalman para actualizar las estimaciones de la posición de los vehículos y la velocidad [9].

Las cámaras de vídeo se instalan en lugares seleccionados de la autopista y en intersecciones semaforizadas para recoger datos del tráfico en tiempo real. Estas cámaras instaladas transmiten las imágenes a un equipo de procesamiento alojado en la caseta de control (o en una caseta separada) instalada en la intersección.

El sistema puede detectar el tráfico en un cierto número de lugares (puntos múltiples) dentro del campo de visión de la cámara. Estos lugares son especificados por el usuario con gráficos interactivos y pueden cambiarse todas las veces que se requiera. Para lograr este emplazamiento flexible de los puntos de detección, se insertan en la pantalla las líneas de detección a lo largo o transversalmente a los carriles de la calzada por medio de un ratón o teclado. Cada vez que un vehículo cruza una línea de detección, se genera una señal de detección.

El sistema de procesamiento de imágenes de vídeo proporciona señales comparables a los detectores de lazo, es decir, la presencia y el paso de un vehículo, así como la velocidad. De estas mediciones, pueden extraerse otros parámetros del tráfico, incluyendo la ocupación, volúmenes, longitudes de cola, etc.

La principal ventaja está en que un sistema de procesamiento de imágenes de vídeo puede sustituir varios lazos de inducción en el pavimento, proporcionar la detección de vehículos en varios carriles y unos menores costes de conservación.

4.1.8 Detectores de radar y microondas

La palabra radar proviene de las funciones que realiza: Radio Detection And Ranging (“Detección y Medición de Distancias por Radio” o también “Detección y Localización por Radio”). El término microondas se refiere a la longitud de onda de la energía transmitida, generalmente entre 1 y 30 cm. Esto corresponde a una gama de frecuencias de 1 GHz a 30 GHz. Los radares que funcionan a frecuencias superiores a 30 GHz funcionan en el espectro de ondas milimétricas y permiten iluminar zonas del terreno más pequeñas con una antena de un tamaño dado y así obtener datos de mayor resolución.

La energía de las microondas es focalizada hacia un área de la carretera desde una antena montada en una posición elevada (en un pórtico o una banderola) o en una posición lateral sobre un poste. Cuando un vehículo atraviesa el haz, la energía es reflejada de vuelta a una unidad sensora (antena) con una frecuencia diferente. El detector capta esta variación de la frecuencia, que denota el paso de un vehículo.

La anchura del haz o área en la cual se transmite la energía del radar (el tamaño y la distribución de energía) se controla a través de la antena. Cuando pasa un vehículo a través del haz de la antena, una parte de la energía transmitida es reflejada de vuelta hacia la antena. Esta energía entra entonces en un receptor donde se realiza la detección y se calculan los datos del vehículo, como son el volumen, la velocidad, la ocupación y la longitud.

Existen dos tipos de sensores de radar de microondas para aplicaciones viales: el radar Doppler de onda continua (CW) y el radar de onda continua modulada (FMCW) [9]. Los datos del tráfico que reciben dependen de la forma de la onda transmitida.

El sensor Doppler de onda continua (CW) transmite una señal cuya **frecuencia es constante en el tiempo**. De acuerdo con el principio del efecto Doppler, el movimiento de un vehículo en la zona de detección provoca un cambio en la frecuencia de la señal reflejada, lo que puede utilizarse para detectar vehículos en movimiento (deben circular por lo menos a 5 km/h) y determinar su velocidad. Este tipo de radares se

utilizan para medir el volumen y la velocidad de los vehículos en las vías arteriales y autopistas urbanas.

El sensor de radar de microondas de onda continua modulada (FMCW) transmite una **frecuencia que va cambiando continuamente con el tiempo**, lo que permite a este tipo de radar funcionar como detector de presencia y puede detectar vehículos parados. Por ello, pueden monitorizar colas de vehículos y se utilizan para controlar semáforos de giro a la izquierda, proporcionan datos en tiempo real del volumen y la ocupación para sistemas adaptativos de control de semáforos.

4.1.9 Detectores ultrasónicos

Los detectores ultrasónicos se desarrollaron a mediados de la década de los 50. Actualmente existen dos tipos de sensores ultrasónicos: los basados en el principio de detección electrostática y los basados en el efecto Doppler.

Los dispositivos ultrasónicos de detección electrostática emiten impulsos de energía sonora ultrasónica y miden el tiempo transcurrido (o la distancia) hasta que la señal retorna al aparato. Cuando la energía sonora regresa más rápidamente que el tiempo de retorno normal de energía desde la superficie de la carretera o cuando se mide una distancia diferente de la distancia de la superficie de la calzada, el sensor interpreta esa medida como la presencia de un vehículo [9]. Luego, se convierte la energía ultrasónica recibida en energía eléctrica, que es analizada por un aparato electrónico de procesamiento de señales, que se coloca en el transductor o en un controlador de la señal situado en el margen de la vía.

Si se transmiten los impulsos de energía en dos ángulos incidentes cercanos, a una distancia conocida, se puede calcular la velocidad registrando el tiempo en el que cada vehículo cruza cada haz y, en consecuencia, la longitud del vehículo.

También se fabrican sensores ultrasónicos de frecuencia constante que miden la velocidad utilizando el principio del efecto Doppler. No obstante, estos son más caros que los modelos de impulsos de ondas. Estos detectores funcionan con el mismo principio de los detectores de radar, es decir, transmiten un haz de energía sobre un área y reciben un rayo reflejado desde el vehículo. El paso de un vehículo provoca que estos haces se reflejen de vuelta hacia el transductor a una frecuencia diferente. El transductor capta esta variación y la convierte en energía eléctrica. Entonces se envía un impulso al controlador para señalar el paso de un vehículo.

Los sensores ultrasónicos han sido empleados en el control del tráfico en túneles, donde otros sistemas de aforo como las células fotoeléctricas no eran fiables, debido a la suciedad y el hollín existente en los túneles por causa del tráfico, y los lazos de inducción tienen el inconveniente de que para su instalación, conservación o reparación es preciso cerrar carriles al tráfico. En estos casos, se disponen los sensores ultrasónicos en pares a intervalos regulares, que proporcionan información sobre el volumen de vehículos, la velocidad, la ocupación, la longitud y su clasificación.

El país donde se han utilizado de una forma más general los sensores ultrasónicos ha sido Japón, debido a que en este país no se permite efectuar cortes en el firme.

Los dispositivos de detección por impulsos ultrasónicos permiten obtener un aforo de vehículos de gran exactitud cuando están montados de forma óptima (en posición superior encima de la calzada). No obstante, los ensayos indican que las grandes variaciones de temperatura y las fuertes turbulencias de aire pueden reducir la precisión de los dispositivos ultrasónicos. De hecho, algunos modelos incluyen un dispositivo de compensación de la temperatura.

4.1.10 Detectores por infrarrojos

Existen dos tipos claramente diferenciados de sensores infrarrojos para aplicaciones de tráfico: los sistemas activos y los pasivos. La principal diferencia entre ambos estriba en que en los sistemas activos se utiliza un rayo láser de baja potencia que parte del dispositivo de medición hacia la superficie de la vía, midiéndose el tiempo que transcurre hasta que la señal retorna al aparato, con el fin de determinar la presencia de un vehículo, mientras que en los sistemas pasivos se detecta la presencia de los vehículos a través de la comparación de la energía infrarroja que emana de forma natural de la superficie de la carretera con la energía causada por la presencia de un vehículo [9].

Sistemas activos

En estos sistemas se iluminan las zonas de detección con una luz infrarroja de baja potencia suministrada por diodos láser. La luz infrarroja reflejada por los vehículos que circulan a través de la zona de detección es enfocada por un sistema óptico sobre una matriz sensora (material sensible a los rayos infrarrojos) montada en el plano focal del sistema óptico.

Utilizando una técnica de procesamiento de las señales en tiempo real, se analiza la señal recibida y se determina la presencia de un vehículo. La división del haz láser de un sensor simple en dos señales separadas, sirve para medir la velocidad de los vehículos y su longitud total, a través de registrar los tiempos en los cuales el vehículo entra en la zona de detección de cada haz.

Los sensores infrarrojos activos facilitan información de la presencia de vehículos en los semáforos, volumen, velocidad, longitud, medición de colas y clasificación. Además los sistemas más modernos pueden medir la altura de los vehículos y, a partir de ésta magnitud, crear imágenes bidimensionales y tridimensionales de los vehículos en circulación, lo que permite una clasificación detallada de los vehículos.

Sistemas pasivos

Los sensores pasivos no transmiten ninguna energía propia, sino que detectan la energía que es emitida proveniente de los vehículos, de las superficies de la calzada, de otros objetos en su campo de visión y desde la atmósfera. Esta energía detectada por los sensores pasivos es la llamada “emisión gris”, debida a la temperatura distinta de cero de los objetos emisivos. La emisión gris se produce a todas las frecuencias por los

objetos que no están al cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Si la emisividad del objeto es perfecta (esto es, emisividad = 1), el objeto es designado como un cuerpo negro. La mayoría de los objetos tienen emisividades menores de 1, de ahí que sean llamados cuerpos grises [9].

Cuando un vehículo entra en el campo de visión de un detector, se utiliza el cambio en la energía emitida para detectar el vehículo. El sistema pasivo de infrarrojos mide solamente el paso (movimiento) de un vehículo.

Estos sensores proporcionan los mismos datos de salida que los lazos convencionales: volúmenes de vehículos y presencia. La monitorización de estos parámetros en dos localizaciones consecutivas del sensor permite calcular la velocidad y, en consecuencia, la longitud total del vehículo. Los sensores pasivos infrarrojos multi-carril y multi-zona miden, además del volumen de tráfico y la ocupación del carril, también la velocidad y la longitud del vehículo.

Un inconveniente de los sensores infrarrojos es que experimentan una degradación de la señal bajo condiciones atmosféricas que reduzcan la visibilidad. Así, los destellos de la luz solar pueden causar señales confusas e indeseadas. Las partículas atmosféricas y las inclemencias atmosféricas pueden dispersar o absorber la energía que en otro caso alcanzaría el plano focal.

4.1.11 Sensores acústicos pasivos

Los sensores acústicos detectan la energía acústica o los sonidos audibles producidos por el tráfico desde el abanico de fuentes sonoras existentes dentro de cada vehículo y de la interacción de los neumáticos con la calzada. El término pasivo aplicado a estos aparatos proviene del hecho de que captan la energía sonora de los vehículos que pasan.

Los detectores acústicos miden físicamente las variaciones en la energía sonora que irradia de la calzada. Los incrementos en energía indican la llegada de un vehículo, y los descensos de energía indican su partida. A partir de estos datos, es posible determinar la ocupación de un carril. Utilizando zonas de detección múltiples, se puede estimar la velocidad del vehículo y su longitud, permitiendo así clasificar a los vehículos por su longitud [9].

Existen dos tipos de sensores acústicos en el mercado. Ambos utilizan una serie bidimensional de micrófonos para detectar el sonido producido por los vehículos que se aproximan.

Uno de los modelos, que consiste en una matriz cuadrada de sensores acústicos, detecta los vehículos a través de la medición del retraso en el tiempo de llegada del sonido entre los micrófonos situados en la posición superior y los situados en una posición inferior.

El otro modelo de dispositivos acústicos pasivos consiste en una hilera de micrófonos dirigidos hacia la corriente del tráfico, montados en una disposición de banda lateral, apuntando a la zona de rodadura de cada carril de circulación. Este modelo utiliza un sistema adaptativo de procesamiento espacial para formar múltiples zonas que

reciben la energía acústica desde hasta 6 ó 7 carriles. Durante la configuración inicial del sistema, se disponen las zonas de detección en posiciones que se corresponden con los carriles monitorizados y que son equivalentes a las de un lazo de inducción.

Este tipo de sensores se suelen utilizar para la recogida de datos en puentes y otras vías en que se requieran sensores no invasivos y en las que, además, no exista un tráfico de vehículos moviéndose lentamente o en condiciones de parada y arranque, pues experimentan una pérdida de exactitud en estas condiciones.

Los sensores acústicos tienen como ventaja el que son insensibles a las precipitaciones, aunque se ha informado de que las temperaturas frías afectan a la exactitud de los datos proporcionados por los sensores acústicos, pudiendo producirse infracontaje en bajas temperaturas.

4.1.12 Sistemas de pesaje en movimiento

Los sistemas de pesaje de vehículos en movimiento son equipos que permiten estimar, de cada uno de los vehículos que circulan por una carretera a su velocidad normal de recorrido, los pesos de cada uno de los ejes del vehículo y su peso total, además de otros parámetros típicos como su longitud, velocidad, distancia entre cada dos ejes, etc.

Aunque en la actualidad existe sistemas con configuraciones muy diferentes, en general un equipo de pesaje dinámico consta de las siguientes partes componentes:

1. **Sensor de peso.** Es el elemento específico de los sistemas de pesaje en movimiento y es el que define su estructura y tipología. Su función es transformar una variable de tipo físico-mecánico relacionada con el peso del vehículo (presión ejercida por las ruedas sobre el pavimento, deformación producida en un aparato o en las capas del firme, etc.) en una señal generalmente eléctrica, que es proporcional a la magnitud de la variable de entrada, y que es fácil de medir y cuantificar. Cada sistema específico puede constar de uno o varios sensores de peso instalados en uno o varios de los carriles de una vía.
2. **Detectores de presencia.** Normalmente son lazos de inducción, aunque a veces también pueden ser utilizados tubos de tipo neumático. Su función puede ser la de detectar simplemente la presencia de un vehículo acercándose al sistema de pesaje con el fin de activar su funcionamiento, o en los sistemas con sensores lineales, medir la velocidad de este vehículo como ayuda para el cálculo de su masa, en conjunción con la señal emitida por el sensor de peso. En general, también suelen ser utilizados para hallar la distancia entre ejes del vehículo, su longitud total, para su clasificación, etc.
3. **La electrónica del sistema.** Es la encargada de realizar las siguientes operaciones:
 - a) Supervisión del funcionamiento del sistema (de los niveles eléctricos de referencia, funciones de calibración, inicialización de su funcionamiento).
 - b) El registro de las señales emitidas por el sensor de peso y los detectores al paso de las ruedas de los vehículos.

- c) Del tratamiento de estas señales para la realización de los cálculos necesarios para la obtención de las magnitudes primarias (las cargas de los ejes elementales, las distancias entre ejes contiguos, velocidad del vehículo).
- d) La transferencia de estos datos a las memorias de almacenamiento temporal o permanente (RAM, ROM, discos duros) o a los módems de transmisión hacia una red o un centro especializado.
- e) El procesamiento de los datos brutos para la obtención de las magnitudes que requiera el usuario (peso bruto de los vehículos, peso de los ejes completos, histogramas de carga por eje, porcentajes de sobrecargados, etc).

4.1.13 Ventajas e inconvenientes y aplicabilidad de cada tecnología para su empleo en la clasificación de vehículos y en la medida de pesos y cargas

Un resumen de las ventajas y los inconvenientes de las tecnologías de toma de datos del tráfico aparecen en la Tabla 1 para los sensores invasivos (que se introducen en el pavimento) y en la Tabla 2 para los sensores no invasivos, que se colocan más arriba de la superficie de la calzada.

Es obvio que, de todas las tecnologías de toma de datos del tráfico que se han descrito, la única que puede proporcionar el peso de los vehículos y sus ejes (y de aquí, potencialmente, facilitar información sobre la carga transportada), sobre una muestra muy grande de vehículos o sobre la población entera que constituye el tráfico de la carretera, es el pesaje dinámico o de vehículos en movimiento.

Sin embargo, esto no implica que se deban dejar de lado todas las demás tecnologías descritas, pues la mayor parte de ellas pueden funcionar de forma coordinada con los sensores y sistemas de pesaje en movimiento (de hecho, algunas como los lazos de inducción suelen formar parte de los sistemas de pesaje dinámico) y, en teoría, podrían ser capaces de llevar a cabo de forma más ventajosa algunas de las funciones auxiliares de la toma de datos de pesaje, como es la medida de la longitud de los vehículos y su clasificación, que luego se pueden utilizar para la determinación de la carga transportada.

Así, por ejemplo, los sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo, los detectores ultrasónicos y los de rayos infrarrojos pueden captar la longitud y los volúmenes que constituyen los vehículos, con la ventaja adicional no requerir efectuar cortes en el pavimento ni el cierre de los carriles al tráfico para su instalación. Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías tienen como principal inconveniente que su funcionamiento y prestaciones se ven muy influenciados por la variabilidad de las condiciones atmosféricas (lluvia, niebla, nieve, etc) y/o de luminosidad ambiente (día, noche, sol rasante de frente o de espaldas), con una disminución de su fiabilidad, lo que se ha traducido en que su empleo para captar y medir algunos parámetros de los vehículos y para clasificarlos no ha alcanzado el uso generalizado que se preveía, excepto en algunos ambientes cerrados donde no existen los anteriores inconvenientes, como son los túneles.

Al contrario, otras tecnologías que en principio ofrecen menores prestaciones, pero que no se ven influidas por las condiciones exteriores y de las cuales existe una gran experiencia acumulada de uso en la carretera, como son los lazos de inducción magnética, siguen siendo las más utilizadas para la medida de muchas variables del tráfico y para la clasificación de vehículos.

Tabla 1. Sensores invasivos: ventajas e inconvenientes de cada tecnología (I)

Tipo de sensor	Ventajas	Inconvenientes
Sensores invasivos (comentarios generales)	<p>La mayoría pertenecen a tecnologías muy conocidas y experimentadas</p> <p>Cuando se instalan de forma permanente, al mismo nivel del pavimento circundante, proporcionan medidas de gran exactitud</p>	<p>Difíciles de instalar en condiciones de mucho tráfico</p> <p>Los sensores instalados en el firme tienden a estar afectados de forma adversa por las condiciones del pavimento</p> <p>Si hay cambios de carril frecuentes, su exactitud es limitada</p>
Tubos neumáticos	<p>Baratos</p> <p>Muy utilizados en instalaciones temporales</p> <p>Fáciles de usar</p>	<p>Inexactos con mucho volumen de tráfico</p> <p>Difíciles de instalar en vías de varios carriles</p> <p>Los tubos convencionales sólo pueden proporcionar clasificación de vehículos en carriles situados al lado del arcén o de la mediana. La tecnología de los tubos multi-carril es relativamente nueva en el mercado</p>
Lazos de inducción	<p>Baratos</p> <p>Tecnología muy conocida y experimentada</p> <p>Tecnología bastante robusta frente a las variaciones e inclemencias atmosféricas</p> <p>Pueden proporcionar la velocidad y la longitud de los vehículos</p>	<p>Más difíciles de instalar que los tubos neumáticos</p> <p>La exactitud disminuye en zonas con vehículos muy poco espaciados (intervalos vehiculares cortos)</p>
Magnetómetro	<p>Instalación fácil y simple</p> <p>Pueden utilizarse en tableros de puentes, donde no pueden usarse lazos de inducción</p> <p>Sufren menos el impacto de los vehículos que los lazos</p>	<p>Poca información publicada sobre su fiabilidad</p> <p>No pueden detectar vehículos parados.</p> <p>La exactitud disminuye con intervalos vehiculares cortos</p> <p>En algunos modelos las zonas de detección son pequeñas, por lo que deben instalarse varios sensores por carril.</p>

Tabla 1. Sensores invasivos: ventajas e inconvenientes de cada tecnología (II)

Tipo de sensor	Ventajas	Inconvenientes
Cables Piezoeléctricos (cerámicos, polímeros, de cuarzo)	Ampliamente utilizados y conocidos Fácil de desplegar Pueden trabajar en áreas de altos volúmenes de tráfico si las velocidades son estables	Requieren un mantenimiento periódico, por lo que son difíciles de mantener en áreas de altos volúmenes de tráfico Deben instalarse en firmes en muy buen estado y sin roderas No miden a velocidades menores de 30 km/h
Fibra óptica	Tecnología nueva y prometedora. Gran sensibilidad. Inmune a los rayos Barata si es amortizada durante un periodo de tiempo mediano	Pocos datos sobre su precisión y fiabilidad
Otros sensores de presión	Generalmente inmunes a los rayos Tecnología bastante conocida Utilizados frecuentemente en instalaciones peaje junto con lazos, lo que permite una exactitud en condiciones de baja velocidad y de flujo inestable (paradas-arranques)	No están desplegados ampliamente Requieren nuevas interfaces de varios fabricantes
Pesaje dinámico	Permite conocer con gran exactitud, además del peso de los vehículos, las intensidades de circulación, la velocidad de los vehículos y su longitud. Posibilita obtener una clasificación muy detallada de los vehículos	Tecnología más cara Instalación en la carretera más laboriosa y especializada Requiere un mantenimiento especializado

Tabla 2. Sensores no invasivos: ventajas e inconvenientes de cada tecnología (I)

Tipo de Sensor	Ventajas	Inconvenientes
Sensores no invasivos (Comentarios generales)	La exactitud no se ve afectada por unas malas condiciones del firme Fácilmente ajustables a una nueva canalización del tráfico	Requieren una estructura de montaje (pórtico, poste) La exactitud tiende a estar afectada por la altura de montaje y el ángulo de visión La estabilidad de la plataforma de montaje afecta a su precisión
Tratamiento de imágenes de vídeo	Permite recoger datos de varios carriles con una sola cámara Fácil de instalar Tecnología ampliamente aceptada y bien conocida	Afectado por los problemas de visibilidad (nieve, niebla, lluvia) Las lentes de la cámara deben estar protegidas de los elementos Menos exacto en una instalación multi-carril Clasificación de vehículos: solamente realiza de forma precisa la basada en la longitud
Radar de microondas	La exactitud no está afectada por el tiempo atmosférico o por el mal estado del pavimento Permite recoger datos de varios carriles con un solo aparato Fácil de instalar. Posibilidad de usarlo en instalación portátil Tecnología ampliamente aceptada y muy conocida	Bajo buenas condiciones, para aplicaciones multicarril, es generalmente menos exacto que los sensores tradicionales Solamente realiza una clasificación basada en la longitud
Infrarrojos	Nueva tecnología que parece prometedora Permite recoger datos de varios carriles con un solo aparato	Afectado por los problemas de visibilidad (nieve, niebla, lluvia) Requiere un mantenimiento periódico No tan preciso en una instalación multi-carril Se dispone de pocos datos sobre fiabilidad

Tabla 2. Sensores no invasivos: Ventajas e inconvenientes de cada tecnología (II)

Tipo de Sensor	Ventajas	Inconvenientes
Ultrasonidos	Nueva tecnología que parece prometedora	Se dispone de pocos datos sobre fiabilidad Requiere una instalación de varios sensores Su exactitud disminuye según aumentan los volúmenes de circulación Algunas condiciones ambientales (turbulencias de aire) puede reducir la exactitud del sistema
Acústico	Nueva tecnología Son insensibles a las precipitaciones	Se dispone de pocos datos sobre fiabilidad. Las temperaturas frías afectan a su exactitud Su exactitud disminuye al aumentar la variabilidad de las velocidades de circulación

4.2 El pesaje de vehículos en movimiento o pesaje dinámico

4.2.1 La tecnología del pesaje dinámico

El pesaje de vehículos en movimiento o pesaje dinámico, normalmente conocido por sus siglas en inglés WIM (Weigh-In-Motion), abarca una serie de tecnologías y procedimientos dirigidos a evaluar las masas o pesos de los vehículos en la carretera, realizadas en condiciones normales de circulación y sin perturbar el tráfico rodado.

Los sistemas de pesaje dinámico proporcionan de forma automática y continua datos sobre el peso total de cada vehículo que pasa sobre el sistema y de cada uno de sus ejes, además de otros parámetros de los vehículos, como la longitud, la distancia entre ejes y su velocidad. Todo ello, sin necesidad de la intervención humana y durante largos periodos de tiempo, durante las 24 horas del día, lo que constituye una poderosa herramienta para la obtención de datos, tanto individualizados como estadísticos, que son de gran ayuda para los organismos gestores de la carretera o del transporte.

El pesaje dinámico o de vehículos en movimiento surgió a en la década de los años 60 y 70, pero no fue hasta finales de la década de los 80 cuando las administraciones de carreteras comenzaron a utilizarlo de una forma más o menos generalizada. Tras diferentes proyectos europeos de investigación en décadas pasadas, como el COST 323 "Weigh-in-motion of road vehicles" (1993-1998) [10], el proyecto WAVE ("Weighing-in-Motion of Axles and Vehicles in Europe") (1996-1999), el Proyecto Top Trial (2000-2002) y el Proyecto REMOVE (2004-2006), esta técnica ha alcanzado

actualmente su madurez, que se ha traducido en la existencia de normativas en diferentes áreas geográficas del mundo que regulan los procedimientos de pesaje, las condiciones que deben cumplir los emplazamientos de los equipos, y los métodos de calibración y de evaluación de la precisión de estos, entre las que se pueden citar la norma estadounidense ASTM E-1318 [11] y las Especificaciones Europeas del Pesaje en Movimiento [12] elaboradas en el marco del COST 323 y la Especificación R 134-1 de la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) sobre “Instrumentos automáticos de medición del peso de los vehículos en movimiento y de sus cargas por eje” [13] .

Sin embargo, la precisión en las medidas de los pesos que puede ofrecer el pesaje dinámico es menor que la de una báscula de pesaje estático, debido a que lo que realmente miden los sistemas de pesaje en movimiento es la fuerza dinámica que ejercen las ruedas del vehículo al circular a su velocidad de recorrido sobre el sensor de pesaje y esta fuerza dinámica está influenciada por la oscilación de la suspensión del vehículo debida a las irregularidades del pavimento. Por tanto, la precisión de los sistemas de pesaje en movimiento depende, además de la calidad intrínseca del sistema, de las irregularidades del pavimento sobre el que está instalado el sensor y, además, algunas tecnologías de pesaje se ven influenciadas por otras variables como la temperatura, humedad, etc.

Existen diferentes tecnologías de pesaje en movimiento, entre las que se pueden citar las siguientes como las más comunes:

- Los sensores piezoeléctricos, basados en la generación de una corriente eléctrica al ser presionados por las ruedas de los vehículos, entre los cuales existen las tecnologías de los sensores piezocerámicos, los piezopolímeros y los de cristal de cuarzo.
- Las placas en flexión, que son placas metálicas instrumentadas en su parte inferior con bandas extensométricas.
- Las esteras capacitivas, muy utilizadas en instalaciones temporales de pesaje, en las que el sensor es un condensador eléctrico con sus placas metálica separadas por un dieléctrico, que disminuye su espesor al pasar las ruedas de los vehículos.
- Los puentes de pesaje en movimiento (en inglés, “Bridge-WIM”) que consisten en puentes de carretera cuyo tablero ha sido instrumentado en su parte inferior con bandas extensométricas, para medir su deformación al paso de los vehículos.

Se han realizado numerosos ensayos para verificar la precisión de cada una de las tecnología mencionadas, pudiéndose decir que las placas en flexión alcanzan una precisión de $\pm 10\%$ para el 95% de los vehículos, los sensores piezoeléctricos tienen una precisión que puede variar en función de las distintas tecnologías y métodos de autocalibración, pudiendo alcanzar los piezocerámicos hasta un $\pm 10\%$ para el 95% de los vehículos (Stanczyk y Jacob,1998 [14]; Leal, 2012) [15], que representa una clase B(10) de las especificaciones europeas WIM del COST 323, y los cristales de cuarzo valores aún mejores (clase B(7)). Por su parte, las esteras capacitivas en instalación

portátil llegan a un $\pm 25\%$ para el 95% de los vehículos (Blab, Jacob and Schahubber, 1998) [16], mientras que alcanzan aproximadamente un $\pm 10\%$ en instalación fija para el 95% de los vehículos. Para acabar, los sistemas de puentes de pesaje en movimiento (Bridge-WIM) pueden alcanzar precisiones de aproximadamente hasta un $\pm 10\%$ para el 95% de los vehículos, lo que es aproximadamente la clase B(10) de las especificaciones europeas WIM del COST 323 en puentes losa de hormigón (Lavric, Znidaric y Kalin, 2008) [17], pero su precisión es algo menor (Clase C(15) de las Especificaciones Europeas WIM) cuando se instrumentan puentes metálicos (F Schmidt y B. Jacob, 2012) [18].

4.2.2 Aplicaciones del pesaje en movimiento

Una de las principales ventajas del pesaje en movimiento radica en la capacidad de estos equipos de funcionar automáticamente 24 horas al día durante largos períodos de tiempo, lo que tiene una doble gama de aplicaciones:

- La obtención de estadísticas acumuladas del tráfico pesado, principalmente de los pesos medios de ejes y vehículos, para su uso en la optimización del diseño y mantenimiento de firmes y puentes viarios o en estudios económicos y de planeamiento del transporte por carretera.
- La disposición de datos detallados, vehículo a vehículo, de sus pesos brutos y cargas por eje, para su utilización en la preselección y control legal de los mismos, la restricción de paso de vehículos pesados por algunos lugares (zonas urbanas, puentes antiguos, etc) o para el cobro de peajes en función del peso del vehículo.

La mayoría de las anteriores aplicaciones son actualmente una realidad, debiéndose esperar al resultado de investigaciones actualmente en curso o futuras, para que los sistemas de pesaje en movimiento puedan llevar a cabo adecuadamente algunas otras, entre las que se puede destacar el control legal de los pesos y cargas de los camiones. De hecho, ya existe algún país europeo, como la República Checa, donde se ha certificado algún sistema para realizar el control legal directo de pesos (Doupal, 2012).

En las siete Conferencias Internacionales sobre el pesaje en movimiento celebradas (Zurich, 1995; Lisboa, 1998; Orlando, 2002; Taipei, 2005; París, 2008; Dallas, 2012 y Foz do Iguaçu, 2016) han existido sesiones específicas sobre las diferentes aplicaciones de los sistemas de pesaje en movimiento, pudiéndose destacar entre las dos últimas conferencias WIM celebradas, las siguientes ponencias así como otros artículos de revistas técnicas:

- Aplicaciones de los sistemas WIM a los pavimentos: Los sistemas de pesaje dinámico se han utilizado para la optimización del diseño, mantenimiento y conservación de firmes viarios gracias a que pueden proporcionar datos de pesos y cargas por eje de todos los vehículos que circulan por una carretera, frente a las básculas de tipo estático, que solo pueden suministrar

información sobre un pequeño número de vehículos (unas pocas decenas) cada día. Esta ha sido la aplicación más común de los sistemas WIM, que se expone de forma general en la ponencia de L. Poulikakos "Application of Weigh-In-Motion in Paviment Engineering" [19], en la Conferencia de Dallas (2012) y se puede destacar, entre otras, también los artículos de A. Abbas et al. "Effect of Traffic Load Input Level on Mechanistic-Empirical Pavment Design" [20] y las ponencias de S. Yousif et al., titulada "Evaluating the role of WIM in Mechanistic Pavement Analysis" [21], también en Dallas (2012) y la de David Timm et al. "Effects of axle load spectra shifts on highway infrastructure damage and cost".

Precisamente, dentro de los trabajos de esta Tesis se ha elaborado un artículo relacionado con esta aplicación, cuyo título es "Aplicación del pesaje de vehículos en movimiento al dimensionamiento de firmes. Influencia de la precisión de los pesajes", que ha sido publicado en la Revista "Informes de la Construcción, nº 545 [22].

- Aplicaciones de los sistemas WIM a los puentes: Los sistemas de pesaje dinámico pueden servir para optimizar el diseño, mantenimiento y conservación de los puentes viarios, especialmente de los de grandes luces, gracias a una determinación más ajustada a las condiciones reales de cada emplazamiento de las cargas que deben soportar. Se han publicado numerosas investigaciones a este respecto, entre los que destacaron en la Conferencia de Paris (2008) los trabajos de A. Znidaric "Measurement of bridge dynamics with a bridge WIM system" [23], la de A. O'Connor "Application of WIM in probability based safety assessment of bridges", y en la Conferencia de Dallas (2012) los documentos presentados por A. Nowak y P. Pakoczy de título "WIM-Based Simulation Model of Site Specific Live Load Effect on the Bridges" [24], el artículo escrito por A. O'Connor y E. O'Brien "Traffic Load Modelling and factors influencing the accuracy of predicted extremes" [25].
- Aplicación del pesaje en movimiento a los estudios de tráfico y clasificación de vehículos. Los sistemas WIM son aparatos de aforo y clasificación de vehículos con algunas capacidades específicas adicionales (la medida del peso), por lo cual, su aplicación a cualquier estudio de tráfico es inmediata, sobre todo en aspectos ligados a la determinación con gran fiabilidad o detalle de la composición (silueta) del tráfico, existiendo numerosos trabajos al respecto, entre los que se pueden citar la ponencia de P. Burnos "Automatic Vehicle Classification for WIM Systems" [26], presentada en la Conferencia de Dallas en 2012, el informe V. Kwigizile de título "Conectionist approach to Developing Highway vehicles Classification Table for use in Florida" [27] (2004) o el artículo de A. Nichols y D. Bullock titulado "Automatic speed calibration methodology for traffic monitoring sites".
- Aplicación a la preselección de vehículos sobrecargados y al control legal

directo: La diferencia entre ambas aplicaciones consiste en que en la preselección de vehículos sobrecargados se utiliza el sistema de pesaje WIM para detectar todos los vehículos que sobrepasan un cierto peso umbral, los cuales son desviados para su pesaje estático en un área adyacente a la carretera (es decir, que el sistema WIM es solo un medio para mejorar la productividad de una báscula estática) mientras que en el control directo lo que se persigue es que el sistema WIM sea capaz de medir los pesos con una precisión suficiente como para poder imponer las multas directamente (utilizando un sistema AVI de reconocimiento de matrículas) a los vehículos sobrecargados. Destacan en estos ámbitos los trabajos de E.Doupal y R. Calderara de título “Combined LS (Low Speed) and HS (High Speed) WIM systems for law enforcement and toll road applications” [28] en París (2008) y E. Doupal et al. “One year WIM Direct Enforcement Experiences in Czech Republic” [29] en Dallas (2012). A este respecto, hay que decir que la República Checa ha sido el primer país en Europa (y probablemente en el mundo) en el cual se utilizan los sistemas WIM para el control legal directo con imposición de las correspondientes multas a los vehículos sobrecargados. Podría decirse que una gran parte de la investigación en el campo del pesaje en movimiento actualmente está dirigida a posibilitar el empleo de esta técnica para el control legal directo de los pesos de los vehículos, debido a las grandes ventajas económicas, tanto por el pago de las multas como por la reducción de los costes de conservación de los firmes viarios, que ello reportaría.

Aparte de las mencionadas, existen algunas otras aplicaciones adicionales, como la del pago de peajes en función del peso del vehículo, que se lleva años utilizando en algunos países del sureste asiático, el control de la restricción de paso de vehículos que superan un cierto peso a puentes antiguos o a centros urbanos o el control del peso de los vehículos que salen o acceden a centros de carga, como son los puertos, centros logísticos, aeropuertos, mercados centrales, etc. Sin embargo, hasta la fecha no se ha intentado determinar el peso de la carga que transportan los vehículos pesados a partir de los datos de pesajes dinámicos, ni individualmente (vehículo a vehículo), ni como dato estadístico de la carga acumulada transportada por el conjunto de vehículos que circulan por una carretera, a pesar de las ventajas que ello reportaría por su aplicación a estudios económicos y de planificación del transporte. En vista de esta situación, se decidió emprender la investigación que se expone en el presente documento.

4.2.3 Datos que proporciona un sistema de pesaje dinámico

Los sistemas de pesaje dinámico son fundamentalmente equipos aforadores de tráfico muy evolucionados, que además de los datos típicos que proporciona un equipo aforador-clasificador de tráfico (el número de vehículos, y su velocidad y longitud) suministran otros parámetros adicionales, algunos relacionados con el peso (el peso total de un vehículo y de cada uno de sus ejes) y otros de diferente tipo, como son la distancia entre ejes consecutivos, la batalla (distancia entre el primer y último ejes de

un vehículo), que considerados conjuntamente permiten realizar una clasificación bastante detallada del tráfico, en especial del pesado.

En la Tabla 3 puede verse una salida de resultados del sistema de pesaje dinámico utilizado por el CEDEX, así como la descripción de los datos que se obtienen. En las Figuras 7 y 8 se muestran unas imágenes de este sistema de pesaje dinámico.

Un sólo equipo de registro es capaz de almacenar los datos correspondientes a cuatro carriles, en cada uno de los cuales hay un sensor de peso y dos lazos de inducción. El equipo, una vez puesto en estación y programado y calibrado con los parámetros correspondientes, registra todos los vehículos, tanto ligeros como pesados, uno a uno, clasificando y pesando todos y cada uno de sus ejes.

En el caso de turismos que sean muy pequeños, es posible que el sistema no detecte el peso de alguno de los ejes o incluso de los dos ejes, sin embargo, el vehículo sí que es aforado, es decir, en el listado aparece un vehículo en el que no figuran datos en las columnas de peso de ejes y peso total. No obstante, en las demás columnas aparecen los datos correspondientes (número de orden, fecha, velocidad, clasificación, etc.).

Como se puede ver en la Tabla 3, el equipo el proporciona en cada fila los datos relativos a un vehículo determinado, entre los cuales se encuentra el número de secuencia, la fecha y hora de paso, el carril de circulación, los pesos de cada eje (AW), el peso total del vehículo (GVM), las distancias entre ejes consecutivos (AD), la velocidad (SPD), la longitud del vehículo (LENG), así como algunos códigos de violación (hasta la columna designada como BL).

Además de las anteriores, se ha añadido una serie de columnas a la derecha para introducir manualmente los datos adicionales que pueden tomarse, por ejemplo, en muestreos visuales, y que pueden servir para realizar pruebas de comparación de los resultados tomados por el equipo con los datos reales. Los datos de estas columnas adicionales se refieren a la clasificación visual de los vehículos (categoría, clase y tipo), si el vehículo lleva algún eje elevado, las taras y PMA de cada una de las unidades (tractor y semirremolque o remolque) de las que consta el vehículo en cuestión, su matrícula y su marca. En definitiva, son datos que no pueden ser captados por el equipo o que se introducen para realizar verificaciones de los datos que suministra automáticamente el equipo.

Figura 7. Componentes del sistema de pesaje dinámico utilizado en los ensayos realizados en El Molar y en Trijueque

Figura 8. Aspecto del sistema de pesaje dinámico utilizado, con su configuración normal en la carretera y camión utilizado en la calibración del sistema

Tabla 3. Salida de datos del sistema de pesaje dinámico utilizado por el CEDEX

LISTADO INDIVIDUAL DE VEHÍCULOS																																			
ARCHIVO DE CARGA: Por defecto, SET ARCHIVOS DE DATOS: Identificación, REC LOCALIZACIÓN Números codificados.																																			
UNIDAD: toneladas (t); metros (m); kilómetros por hora (km/h)																																			
DESCRIPCIÓN: Localidad, provincia, carretera, punto kilométrico, camión y sentido.																																			
COMENTARIO: Entre otros poner el día de la semana de la toma de datos.																																			
LISTADO DEL EQUIPO TOL-500 EN SALIDA INDIVIDUAL DE VEHÍCULOS																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
TRU/BO MANUFACTURER INDIVIDUAL VEHICLE REPORT PAGE 1																																			
SETUP FILE: default, SET DATE TIME: 0000003, REC LOCATION: 000000023																																			
UNITS: Tons, meter, km/h																																			
DESCRIPTION: Puerto de Agüeras (Código): Autovía interior, carretera sentido Málaga, carril derecho (corresponde al carril central al haberse anulado el tráfico por el carril exterior y dejar como carriles útiles para el tráfico al central y el interior).																																			
COMMENTS: Los vehículos del listado corresponden al viernes 6 de junio de 2014.																																			
No	Date	Time	Lns	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	AW7	AW8	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	SPD	LENG	CL	ESAL	VIOL	BL	VEH	VEH	VEH	ELEV	TRAC	TRAC	RBI	TARA	RPIA	MARKA
12651	14/06/08	09:141	3	5.9	3.4							9.3	3.6							43	6.5	3	0.28	0											
12652	14/06/08	09:154	3	4.7	16.2	3.6	4.1	10.8				41.4	3.4	8.7	1.2	1.2				35	18.0	4	18.02	0											
12653	14/06/08	09:204	3	5.8	6.0	6.8	5.7	5.6				30.6	3.7	6.0	1.3	1.3				31	17.2	4	1.19	0											
12654	14/06/08	09:213	3									0.0								67	4.4	1	0.00	0											
12655	14/06/08	09:218	3	0.8	0.5							1.1	2.7							58	4.0	1	0.00	0											
12656	14/06/08	09:231	3	4.7	6.6	2.0	3.0					18.3	3.5	4.1	1.3					36	11.6	4	0.81	0											
12657	14/06/08	09:247	3	0.7	0.7							1.4	2.7							57	3.8	1	0.00	0											
12658	14/06/08	09:250	3	6.8	10.1	6.8	7.1	6.0				37.5	3.7	6.4	1.3	1.3				41	17.6	4	3.58	0											
12659	14/06/08	09:300	3	5.1	5.3	2.0	2.5	2.6				16.4	3.6	6.3	1.3	1.3				40	17.3	4	0.32	0											
12660	14/06/08	09:317	3	4.8	4.5							0.3	3.5							38	5.1	5	0.10	0											
12661	14/06/08	09:320	3	0.7	0.8							1.3	2.7							34	4.0	1	0.00	0											
12662	14/06/08	09:347	3	5.7	14.4	3.0	4.4	16.1				43.8	3.1	5.8	1.2	1.1				28	18.1	4	9.01	13											
12663	14/06/08	09:351	3	0.8	0.5							1.1	2.7							26	3.3	1	0.00	0											
12664	14/06/08	09:401	3	2.7	5.4							6.1	4.7							40	6.0	3	0.10	0											
12665	14/06/08	09:430	3	0.8	0.6							1.2	2.0							51	4.5	1	0.00	0											
12666	14/06/08	09:504	3	5.6	5.0	2.8	2.2					15.4	4.0	6.4	1.3					58	16.1	4	0.35	0											
12667	14/06/08	09:506	3	5.0	5.2	2.3	2.0					15.4	3.0	6.3	1.2					54	16.5	4	0.41	0											
12668	14/06/08	09:517	3	5.6	5.2	2.2	2.3					15.5	3.7	3.0	1.3					64	11.5	4	0.40	0											
12669	14/06/08	09:548	3	1.4	1.0							2.4	3.7							43	5.4	1	0.00	0											
12670	14/06/08	09:550	3	0.8	0.6							1.4	2.6							41	3.0	1	0.00	0											

Número de orden: 2.Fecha: 3.Hora: 4.Carril: 5-12 Paso de ejes, 13:Peso total (t), 14-20:Distancia entre ejes (m), 21:Vías (km), 22:Longitud (m), 23: Clasificación según la FMVA, 24:Factor de equivalencia en ejes tipo de 8,21

25:27:Codigo del vehículo de muestra (ref:logn): 28:Codigo de turismo, 29:Codigo de carga, 30:Codigo de bloque (código interno),

31:Codigo de la parte frontal, 32:Codigo de la parte trasera, 33:Codigo de la parte superior, 34:Codigo de la parte inferior, 35:Codigo de la parte superior, 36:Codigo de la parte inferior,

37:Codigo de la parte superior, 38:Codigo de la parte inferior, 39:Codigo de la parte superior, 40:Codigo de la parte inferior, 41:Codigo de la parte superior, 42:Codigo de la parte inferior,

43:Codigo de la parte superior, 44:Codigo de la parte inferior, 45:Codigo de la parte superior, 46:Codigo de la parte inferior, 47:Codigo de la parte superior, 48:Codigo de la parte inferior,

49:Codigo de la parte superior, 50:Codigo de la parte inferior, 51:Codigo de la parte superior, 52:Codigo de la parte inferior, 53:Codigo de la parte superior, 54:Codigo de la parte inferior,

55:Codigo de la parte superior, 56:Codigo de la parte inferior, 57:Codigo de la parte superior, 58:Codigo de la parte inferior, 59:Codigo de la parte superior, 60:Codigo de la parte inferior,

61:Codigo de la parte superior, 62:Codigo de la parte inferior, 63:Codigo de la parte superior, 64:Codigo de la parte inferior, 65:Codigo de la parte superior, 66:Codigo de la parte inferior,

67:Codigo de la parte superior, 68:Codigo de la parte inferior, 69:Codigo de la parte superior, 70:Codigo de la parte inferior, 71:Codigo de la parte superior, 72:Codigo de la parte inferior,

73:Codigo de la parte superior, 74:Codigo de la parte inferior, 75:Codigo de la parte superior, 76:Codigo de la parte inferior, 77:Codigo de la parte superior, 78:Codigo de la parte inferior,

79:Codigo de la parte superior, 80:Codigo de la parte inferior, 81:Codigo de la parte superior, 82:Codigo de la parte inferior, 83:Codigo de la parte superior, 84:Codigo de la parte inferior,

85:Codigo de la parte superior, 86:Codigo de la parte inferior, 87:Codigo de la parte superior, 88:Codigo de la parte inferior, 89:Codigo de la parte superior, 90:Codigo de la parte inferior,

91:Codigo de la parte superior, 92:Codigo de la parte inferior, 93:Codigo de la parte superior, 94:Codigo de la parte inferior, 95:Codigo de la parte superior, 96:Codigo de la parte inferior,

97:Codigo de la parte superior, 98:Codigo de la parte inferior, 99:Codigo de la parte superior, 100:Codigo de la parte inferior,

1: Número de orden. 2: Fecha. 3: Hora. 4: Carril. 5-12: Paso de ejes. 13: Paso total (t). 14-20: Distancia entre ejes (m). 21: Velocidad (km/h). 22: Longitud (m). 23: Clasificación según la PMA. 24: Factor de equivalencia en ejes tipo de 8.2t. 25: Código (entre 1 y 31) que hace corresponder un número con un tipo de violación o superación de los límites marcados en el programa de cargas. 26: Bloque (código interno). 27: Categoría del vehículo de muestra (refurgón; pesado; autocar; camión con PMA; 3 t o derivado de turismo. 28: Clasificación (1=rigido, 2=articulado, 3=tráiler de carretera). 29: Vehículo definido por el tipo de ejes. 30: Orden de los ejes elevados empujando por la parte frontal. Ejemplo: 24 significa que el vehículo lleva elevado los ejes segundo y cuanto desde la parte frontal. 31: Tara del vehículo rígido o de la cabeza tractora. 32: PMA del vehículo rígido o de la cabeza tractora. 33: Tara del semitráiler o del remolque. 34: PMA del semitráiler o del remolque. 35: Marca y modelo del vehículo. 36: Marca y modelo del vehículo.

TABLA 1

4.3 Revisión de procedimientos de clasificación automática de vehículos

4.3.1 Cuestiones generales

Existen muchos esquemas o siluetas diferentes de clasificación de los vehículos, que en general dependen del equipamiento necesario para recoger los datos de clasificación de los vehículos en la carretera. La mayor parte de estos aparatos recogen datos sobre los siguientes parámetros de los vehículos:

- la longitud,
- el número de ejes,
- la separación entre ejes
- el peso de los vehículos.

Los dos tipos principales de sensores utilizados por estos sistemas de clasificación son los sensores de ejes, que captan el golpe del eje de un vehículo al pasar; y los sensores de presencia, que captan la presencia de un vehículo mediante la detección de sus partes metálicas. En muchos de los equipos se utiliza una combinación de estos dos tipos de sensores, como suele ocurrir en los sistemas de pesaje dinámico de vehículos.

La clasificación de los vehículos se realiza utilizando la información proporcionada por los sensores para encajar a los distintos vehículos en ciertas “plantillas” o “esquemas” de clasificación. El sistema de clasificación más simple que puede tener una administración de carreteras es el que emplea solamente dos clases: los coches y los camiones; y el criterio de diferenciación suele ser la longitud del vehículo, pues se puede medir esta magnitud utilizando solamente lazos de inducción. Una mejora sobre éste es el que divide a su vez a los camiones en dos clases: los vehículos rígidos (single unit trucks) y los articulados (combination trucks). Esta diferenciación también puede realizarse por medio de la longitud de los vehículos, pues la mayor parte de los articulados superan el límite de longitud máxima admitida para los vehículos rígidos.

A partir de estos esquemas simples se ha ido desarrollando una expansión de estas clases de vehículos en unas más detalladas, incluyendo gran número de (sub)tipos, creciendo al mismo tiempo la dificultad de diferenciación entre los (sub)tipos. Por otro lado, según aumenta el número de tipos, es necesario disponer de un sistema de recogida de datos del tráfico más sofisticado y de un esquema de decisión con un mayor número de criterios relacionados con las características de los vehículos.

Aunque cada país ha tratado de desarrollar su propio esquema de clasificación adaptado a los tipos de vehículos (y a las características de estos) presentes en sus carreteras, se ha creído conveniente describir a continuación los esquemas de clasificación más utilizados internacionalmente, que son el esquema F de la FHWA de Estados Unidos y el esquema EURO-13, utilizado en Europa. Por último, también se describirán los esquemas de clasificación utilizados en España.

4.3.2 Esquemas de clasificación de la Administración de las Carreteras Federales (FHWA) de EE.UU.

A comienzos de la década de los 80 se acometieron en Estados Unidos varios trabajos interesantes para separar a los vehículos en diferentes categorías. Entre ellos cabe destacar el realizado por Mactavish y Neumann en 1982 en su Estudio de Clasificación de los Vehículos [30] llevado a cabo para el Highway Performance Monitoring System (HPMS), en el que se dividió a los vehículos en 13 categorías.

Desde septiembre de 1980 a julio de 1982, la División de Materiales e Investigación del Laboratorio del Departamento de Transporte del Estado de Maine llevó a cabo un estudio para la FHWA de evaluación del equipamiento de clasificación de vehículos (Lyles y Wyman, 1982) [31]. En este estudio se desarrollaron secuencialmente varios esquemas de clasificación de vehículos, que iban desde el esquema A al Esquema F. A continuación se dan unas breves notas de los más importantes de estos esquemas.

Con respecto al esquema de clasificación “A”, se separó a los vehículos en las 7 clases que se muestran en la Tabla 4. La evaluación de campo reveló varios problemas asociados con el empleo de este Esquema. El inconveniente más importante estaba en diferenciar entre los vehículos estándar/compactos y los vehículos sub-compactos debido a la evolución de la industria del automóvil en Estados Unidos hacia coches más pequeños.

Tabla 4. Detalles del esquema “A” de clasificación de vehículos de la FHWA

Categoría de vehículo	Descripción	Regla de decisión
A-1	Vehículos de pasajeros estándar y compactos (incluyendo pick-ups, furgonetas y otros vehículos de 2 ejes y 4 neumáticos)	$2,54 \text{ m (100")} \leq \text{batalla} \leq 3,66 \text{ m (144")}$ y $\text{longitud} \geq 4,57 \text{ m (180")}$
A-2	Vehículos sub-compactos (incluyendo pick-ups ligeros)	$\text{batalla} \leq 2,54 \text{ m (100")}$ y $\text{longitud} < 4,57 \text{ m (180")}$
A-3	Motocicletas	Sin comentarios
A-4	Camiones simples (rígidos) de 2 ejes y 6 neumáticos	2 ejes y $\text{batalla} > 3,66 \text{ m (12 pies)}$
A-5	Camiones simples (rígidos) de 3 ó más ejes	3 ejes o 4 ejes y $\text{batalla} \leq 7,93 \text{ m (26 pies)}$
A-6	Combinaciones de 3 o 4 ejes	3 ejes o 4 ejes y $\text{batalla} \geq 7,93 \text{ m (26 pies)}$
A-7	Combinaciones de 5 o más ejes	5 o más ejes

Además, todas las furgonetas y camiones de reparto fueron agrupados en una categoría. Esto resultó en unos errores de clasificación que eran independientes del equipamiento utilizado. Otro problema fue la diferenciación entre los 2 ejes y 4 neumáticos (en la primera categoría) y los 2 ejes y 6 neumáticos (en la cuarta

categoría), debido al solape de las distribuciones de distancias entre los dos ejes, que tiene una gran importancia, pues normalmente supone distinguir entre los furgones (que la mayor parte de las veces son vehículos ligeros) y los camiones de dos ejes en que el trasero tiene rueda gemela, pues son vehículos pesados.

En el mismo estudio se desarrollaron otros sistemas de clasificación, del esquema “B” al esquema “F”, cada uno de ellos tratando de mejorar el sistema precedente, en el sentido de que pudiera obtenerse de forma automática con el menor error posible. El esquema “B” constaba de 13 categorías de vehículos, el esquema “C” de 19 categorías, el esquema “D” de 32 categorías de vehículos, el esquema “E” con 13 categorías de vehículos nuevamente y por último el esquema “F”, también con 13 categorías de vehículos.

La práctica actual en Estados Unidos en cuanto a la clasificación de vehículos es utilizar el Esquema de Clasificación F de la FHWA. Este esquema de clasificación se basa en la configuración de los ejes y utiliza un método de árbol de decisión que emplea las distancias de separación entre ejes como características de entrada para identificar 13 clases diferentes de vehículos, de las cuales 11 son distintos tipos de vehículos comerciales, según se muestra en la Tabla 5 y Figura 9.

Tabla 5. Esquema “F” de clasificación de vehículos de FHWA

Clase	Descripción
1	Motocicletas
2	Coches
3	Otros vehículos simples de 2 ejes y 4 neumáticos
4	Autobuses
5	Camiones simples (rígidos) de 2 ejes y 6 neumáticos
6	Camiones simples (rígidos) de 3 ejes
7	Camiones simples (rígidos) de 4 ó más ejes
8	Camiones de 4 ó menos ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
9	Camiones de 5 ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
10	Camiones de 6 ó más ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
11	Camiones de 5 ó menos ejes con varios remolques (o semirremolques)
12	Camiones de 6 ejes, con varios remolques (o semirremolques),
13	Camiones de 7 ó más ejes, con varios remolques (o semirremolques)

Figura 9. Esquema “F” de clasificación de la FHWA (EE.UU.)

Existen algunos estados, como el de California, que adoptan un esquema ligeramente modificado respecto al Esquema F de la FHWA según se muestra en la Tabla 6, pues incluye una clase adicional para diferenciar los camiones de 3 ejes que tiran de remolques (o semirremolques de 2 ejes), de las cabezas tractoras de 3 ejes que remolcan semirremolques de 2 ejes –ambos tipos son clasificados dentro de la clase 9 (Camiones de 5 ejes incluyendo un remolque o semirremolque simple)- dentro del Esquema “F” de clasificación de la FHWA, mientras que en la del Estado de California corresponden respectivamente a las clases 9 y 14. Asimismo, se incluye una clase decimoquinta para los vehículos que no pertenecen a ninguna de las catorce primeras categorías.

Tabla 6. Esquema de clasificación de vehículos de FHWA modificado en California

Clase	Descripción
1	Motocicletas
2	Coches
3	Otros vehículos simples de 2 ejes y 4 neumáticos
4	Autobuses
5	Camiones simples (rígidos) de 2 ejes y 6 neumáticos
6	Camiones simples (rígidos) de 3 ejes
7	Camiones simples (rígidos) de 4 ó más ejes
8	Camiones de 4 ó menos ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
9	Camiones de 5 ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
10	Camiones de 6 ó más ejes, con remolque simple (articulados o trenes)
11	Camiones de 5 ó menos ejes con varios remolques (o semirremolques)
12	Camiones de 6 ejes, con varios remolques (o semirremolques),
13	Camiones de 7 ó más ejes, con varios remolques (o semirremolques)
14	Vehículos de 5 ejes, con una cabeza tractora de 3 ejes y un remolque de 2 ejes
15	Vehículos sin clasificar

Las configuraciones de los ejes de los vehículos para ambos esquemas de clasificación de obtienen mediante Clasificadores Automáticos de Vehículos (Automatic Vehicle Classifiers (AVCs)), que consisten, a grandes rasgos, en sensores piezoeléctricos colocados entre sensores de lazos de inducción situados delante y detrás de ellos. Los lazos de inducción indican la presencia de un vehículo según pasa sobre los sensores, mientras que los sensores piezoeléctricos determinan la configuración de ejes del vehículo detectado.

El esquema F de clasificación de la FHWA es el utilizado no sólo en Estados Unidos, sino en otros muchos países de distintos continentes, pues es el que suele venir incorporado, ya sea por defecto o de forma opcional, en la mayor parte de los equipos de pesaje dinámico utilizados en el mundo, aunque en cada país deben ser adaptados los umbrales de diferenciación de las distintas clases de vehículos a las características de los vehículos típicos de cada país.

4.3.3 Esquema europeo de clasificación EURO 13

Una de las regiones del mundo donde es más problemática la adaptación del Esquema F de la Federal Highway Administration (FHWA) es en Europa, pues los tipos de camiones más utilizados son bastante diferentes de los que se usaron para desarrollar el esquema F en Estados Unidos y la adaptación no constituye solamente un problema de ajustar las dimensiones o valores umbrales de diferenciación entre las distintas clases, sino que algunas clases de vehículos utilizados en Europa son en sí mismas muy diferentes.

Por ello, en Europa es de uso común el esquema de clasificación denominado EUR13, de 13 clases, con algunas variantes entre los diferentes países, y cuyas características se muestran en la Tabla 7.

Tal como se puede ver en la Tabla 7, el esquema europeo de clasificación EURO 13, incluye las trece clases siguientes:

- Una primera clase que engloba a todos diversos tipos de vehículos ligeros:
 - coches,
 - vehículos ligeros de transporte (furgones, camiones ligeros)
 - coches con caravana o remolque ligero de 1 eje
 - coches con caravana o remolque ligero de 2 ejes
- Las clases 2, 3 y 4 son para los camiones pesados de 2, 3 y 4 ejes respectivamente (aunque dentro de cada una de estas clases, pueden coexistir vehículos que aunque tengan el mismo número de ejes, la ordenación de estos puede ser diferente)
- La clase 5 es para los trenes de carretera formados por un camión rígido de 2 ejes y un remolque de 1, 2 ó 3 ejes.
- La clase 6 engloba a los trenes de carretera formados por un camión rígido de 3 ejes más un remolque de 2 ó 3 ejes.
- Las clases 6, 7 y 8 incluyen a los vehículos articulados de 3, 4 y 5 ejes respectivamente, en los que la cabeza tractora tiene solamente 2 ejes.
- La clase 10 abarca para los articulados de 4 ó 5 ejes en los que la cabeza tractora tiene 3 ejes
- La clase 11 es para los articulados de 6 ejes en los que la cabeza tractora tiene 3 ejes.
- La clase 12 engloba a los autobuses de 2 y de 3 ejes

- La última clase incluye a todos los vehículos y combinaciones de estos con 7 ejes o más

Como se puede ver en la Tabla 7, este esquema de clasificación está más adaptado a los vehículos más frecuentes en el tráfico de España y los países europeos, dejando una única clase para las combinaciones de vehículos del tipo (tractor + semirremolque + remolque), que son muy raras en nuestro continente (en comparación con Estados Unidos y Australia), excepto en algunos países nórdicos para camiones utilizados para el transporte de troncos de árboles (y que actualmente se acaba de autorizar su circulación en España, el conocido como megacamión de hasta 60 t de peso)

Este esquema de clasificación se ha adoptado en algunos países europeos, con ciertas variaciones para acomodarse mejor a las características particulares del tráfico en cada país.

Tabla 7. Esquema de clasificación EURO-13

Class Nº	Vehicle description	Class Nº	Vehicle description
1	car, light van, taxi	5	rigid 2 axle HGV + 2 axle (close coupled) trailer
1	light goods vehicle (LGV)	6	rigid 3 axle HGV + 2 axle drawbar trailer
1	car or LGV + 1 axle caravan or trailer	6	rigid 3 axle HGV + 3 axle drawbar trailer
1	car or LGV + 2 axle caravan or trailer	7	artic, 2 axle tractor + 1 axle semi-trailer
2	rigid 2 axle HGV	8	artic, 2 axle tractor + 2 axle semi-trailer
3	rigid 3 axle HGV	9	artic, 2 axle tractor + 3 axle semi-trailer
3	rigid 3 axle HGV	10	artic, 3 axle tractor + 1 axle semi-trailer
4	rigid 4 axle HGV	10	artic, 3 axle tractor + 2 axle semi-trailer
4	rigid 4 axle HGV	11	artic, 3 axle tractor + 3 axle semi-trailer
5	rigid 2 axle HGV + 2 axle draw bar trailer	12	bus or coach, 2 axle
5	rigid 2 axle HGV + 3 axle draw bar trailer	12	bus or coach, 3 axle
5	rigid 2 axle HGV + 1 axle caravan or trailer	13	vehicle with 7 or more axles

4.3.4 Siluetas utilizadas en España

4.3.4.1 Siluetas que obtiene la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento

La Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento obtiene a través del Plan Nacional de Aforos, desarrollado a principios de la década de los 80, dos clasificaciones diferentes de los vehículos que circulan por la red de carreteras del Estado: una obtenida automáticamente, por medio de los equipos de aforo funcionando con lazos de inducción magnética, y otra más detallada, pero que no se obtiene de forma automática, sino mediante observación visual directa de unos operarios.

- A. Siluetas utilizadas en los aforos automáticos (realizados con un par de lazos de inducción por carril conectados a un equipo electrónico de registro), clasificando los vehículos por longitud:
 - Vehículos ligeros: Longitud de hasta 6 m
 - Vehículos pesados: Longitud de más de 6 m

- B. Siluetas utilizadas en los aforos manuales, obtenida visualmente por los operarios:
 - 1. Motos
 - 2. Coches
 - 3. Coches con caravana
 - 4. Camionetas
 - 5. Tractores agrícolas
 - 6. Camiones sin remolque
 - 7. Camiones articulados
 - 8. Trenes de carretera
 - 9. Vehículos especiales
 - 10. Autobuses.

Hay que señalar que esta última silueta más detallada, que requiere observadores manuales, y por tanto no se obtiene de forma continua, ni siquiera se recoge todos los años a través de aforos visuales de corta duración, sino que cada cierto número de años, a veces 10, se contrata la recogida de datos por este procedimiento.

4.3.4.2 Siluetas obtenidas por el CET (CEDEX) en las campañas de aforo y pesaje realizadas entre 1987 y 2003

El Centro de Estudios del Transporte (CET) del CEDEX durante la realización de las campañas de pesaje dinámico en la Red de Carreteras del Estado, llevadas a cabo entre 1987 y 2003, recogía también cuatro siluetas diferentes sobre distintas muestras de vehículos : dos de tipo automático, y otras dos, más detalladas, de tipo manual:

Silueta A: Se obtenía en el **aforo automático** realizado por el equipo de pesaje dinámico, pero sin utilizar los datos proporcionados por el sensor de peso, por lo que solamente se tenían en cuenta los datos de longitud de los vehículos proporcionados por los lazos de inducción del equipo de pesaje, obteniendo la siguiente composición:

- Vehículos ligeros: longitud menor de 6 m
- Vehículos pesados: longitud igual o mayor de 6 m

El propósito de obtener esta composición tan simple del tráfico, pudiendo obtener otras más detalladas con los equipos de pesaje dinámico, era comparar la exactitud en el número de vehículos pesados obtenidos en los aforos automáticos recogidos en la Red de Aforos de la Dirección General de Carreteras (y que sirven para determinar la categoría de tráfico pesado a introducir en el dimensionamiento de firmes) con los valores más cercanos a la realidad proporcionados por la medición del peso del vehículo mediante el sistema de pesaje dinámico.

Silueta B: Esta silueta se recogía en el **aforo manual** de 6 horas que se realizaba simultáneamente a la toma de datos del equipo de pesaje dinámico. En este aforo manual se clasificaban los vehículos visualmente por los operarios en:

- Turismos
- Derivados de turismo
- Furgón de 2 ejes sencillos
- Furgón de eje sencillo y eje gemelo y PMA $\leq 3,5$ t
- Furgón de eje sencillo y eje gemelo y PMA $> 3,5$ t
- Camiones nacionales rígidos con PMA $\leq 3,5$ t
- Camiones nacionales rígidos con PMA $> 3,5$ t
- Camiones nacionales articulados
- Camiones extranjeros rígidos
- Camiones extranjeros articulados
- Autocares nacionales
- Autocares extranjeros

Silueta C: Se obtenía de la **población de vehículos**, a partir de los datos tomados automáticamente por el sistema de pesaje dinámico, según el peso y longitud de cada vehículo.

- Se obtiene separando automáticamente los vehículos de la población cuyo peso en báscula es mayor o igual a 3,5 t, según su número de ejes elementales.
- Además, con los vehículos pesados obtenidos con la condición anterior, se clasificaba a estos vehículos por su longitud, en:
 - Vehículos rígidos ($6\text{ m} < \text{Longitud} < 12\text{ m}$) y
 - Vehículos articulados+trenes de carretera ($\text{Longitud} > 12\text{ m}$).

Silueta D: Esta silueta se obtenía visualmente mediante operarios situados en los márgenes de la carretera sobre una **muestra visual** tomada durante las 6 horas de aforo manual, al realizar la toma de datos de las estaciones de pesaje dinámico. Se la designaba como **Silueta BDP** de vehículos pesados, tomados visualmente por los operarios durante las 6 horas de aforo manual, y filtrados por las condiciones restrictivas del programa del aforo automático de 24 horas. En esta silueta se diferenciaba entre los siguientes tipos de vehículos:

- Camiones rígidos: 6 tipos
- Semirremolques: 9 tipos
- Trenes de carretera: 27 tipos

Aunque en cada una de estas clases pudiera existir algún tipo de vehículo adicional, sobre todo en los trenes de carretera, se tomaron los tipos mencionados por ser los más comunes a lo largo de las sucesivas campañas.

Por ser la silueta más completa que se puede obtener, se utilizará como referencia varias veces a lo largo de este documento para designar a los tipos, por lo cual se va a explicar a continuación su sistema de designación de los diferentes tipos de vehículos.

Clasificación y designación de los vehículos según la muestra visual de las campañas de pesaje dinámico realizadas por el CEDEX.

De acuerdo con el sistema de clasificación utilizado en la muestra visual de las campañas de pesaje dinámico, se designaba a cada vehículo pesado según su clase y su tipo (configuración) de ejes. En la Tabla 8 pueden observarse las cuatro grandes clases de vehículos que se consideran en este esquema:

- Camión rígido Clase 1 (R)
- Camión articulado Clase 2 (S)
- Tren de carretera (camión + remolque) Clase 3 (T)
- Tren de carretera (articulado + remolque) Clase 4 (S +T)

Tabla 8. Clases de vehículos obtenidos visualmente

CLASE DE CAMIÓN		CARÁCTERÍSTICAS		
GRÁFICA	NUMÉRICA	Nº RUEDAS	Nº EJES INDIVIDUALES	Nº EJES MÚLTIPLES.
1	6-12	2-4	2
2	10-22	3-6	3
3	10-24	4-7	3-4
4	14-34	5-9	4-5
CLASE DE CAMIONES				

Antiguamente se utilizaba la designación numérica (1, 2, 3 ó 4), por considerarla más práctica con vistas a su codificación, pero modernamente se prefiere hacerlo por la letra inicial (R, S, T ó S+T), por ser más descriptiva.

El número completo de clasificación de un vehículo contiene los siguientes dígitos, tal como se muestra en la Tabla 9:

- 1º dígito Clase a la que pertenece.
- 2º dígito Número de ejes elementales.
- Resto de dígitos Configuración de ejes múltiples (o completos) del vehículo.

Lo que define más plenamente a un vehículo pesado es el número y tipología de sus ejes, que viene descrita por el resto de los dígitos. En cuanto a la tipología de los ejes, los denominados “**ejes múltiples**” se pueden clasificar, atendiendo a la distancia entre los ejes individuales que los forman, en simples, tándem (dobles) y trídem (triples), mientras que si se considera también al número de ruedas existentes en cada uno de los extremos de cada eje que lo forman, pueden clasificarse en ejes de ruedas sencillas (con una sola rueda en cada extremo del eje), ejes de ruedas gemelas (con dos ruedas en cada extremo del eje) y **ejes asimétricos** (cuando en un eje múltiple existen unos ejes individuales de ruedas sencillas y otros ejes individuales de ruedas gemelas).

De esta forma, teniendo en cuenta los anteriores criterios, pueden definirse 8 clases principales de ejes, asignándole un número a cada una de ellas:

1. Eje simple de ruedas sencillas
2. Eje simple de ruedas gemelas
3. Eje tándem de ruedas sencillas
4. Eje tandem de ruedas gemelas
5. Eje trídem de ruedas sencillas
6. Eje trídem de ruedas gemelas
7. Eje tándem asimétrico
8. Eje trídem asimétrico.

Así, por ejemplo, los dos tipos de camiones más comunes son:

- El R12, que es el vehículo rígido (R) con un eje simple delantero de ruedas sencillas (1), que es el eje direccional, y el eje trasero es un eje simple de ruedas gemelas (2), que es el eje motriz.
- El S125, que es un vehículo articulado compuesto de cabeza tractora más un semirremolque (S), con un eje simple delantero direccional de ruedas sencillas (1) en la cabeza tractora, un eje simple de ruedas gemelas (2) en la parte trasera de la cabeza tractora, que es el eje tractor, y en el semirremolque hay un eje trídem de ruedas sencillas (5).

De acuerdo con lo que se acaba de explicar, se obtenía el esquema completo de clasificación que se puede ver en la Tabla 9:

Tabla 9. Diferentes tipos de vehículos considerados visualmente, incluyendo su configuración de ejes (Por ejemplo: la configuración 12 significa que el primer eje múltiple es simple de ruedas sencillas (1) y el segundo eje es simple de ruedas gemelas (2). La configuración 14 indica que el primer eje es simple de ruedas sencillas (1) y el segundo eje múltiple es tándem de ruedas gemelas (4).

CONFIGURACIONES DE VEHÍCULOS PESADOS				
CLASE DE VEHÍC.	TIPO DE VEHÍCULO	CLAVE	NÚMERO DE EJES INDIVIDUALES	CONFIGURACIÓN DE EJES
1		1212000	2	12
	1314000	3	14
	1317000	3	17
	1332000	3	32
	1434000	4	34
	1437000	4	37
2		2312200	3	122
	2412300	4	123
	2412400	4	124
	2512500	5	125
	2512600	5	126
	2512800	5	128
	2514400	5	144
	2614500	6	145
	2614600	6	146
3		3412110	4	1211
	3412220	4	1222
	3412300	4	123
	3412400	4	124
	3512130	5	1213
	3512240	5	1224
	3512500	5	125
	3512600	5	126
	3514220	5	1411
	3517220	5	1422
	3514400	5	144
	3517400	5	174
	3532220	5	3222
	3532400	5	324
	3632240	6	3224

4.3.5 Metodología para realizar una clasificación automática

4.3.5.1 Consideraciones generales

La metodología para establecer un esquema de clasificación automática se debe basar en la consideración de dos aspectos principales:

- 1- Por un lado, por las necesidades o exigencias de datos del organismo que recoge los datos, de acuerdo con la aplicación que vaya a dar a esos datos. En efecto, muchas veces sólo se requiere determinar la composición del tráfico en un número muy reducido de clases de vehículos (por ejemplo, para ciertos estudios de capacidad de tráfico, basta con conocer la composición en ligeros y pesados), mientras que en otros casos (como los estudios detallados de transporte), es preciso “afinar” más en la distinción de un mayor número de clases diferentes de vehículos.
- 2- Por otro lado, por la capacidad de los medios o de los equipos de recogida automática de datos de que se disponga para diferenciar un número mayor o menor de clases. Así, si sólo se dispone de equipos aforadores de tráfico que utilizan lazos de inducción, únicamente se podrán obtener unas pocas clases de vehículos, mientras que si se dispone de equipos de pesaje dinámico se podrá conseguir diferenciar en un mayor número de clases. De igual manera, cuando sólo sea necesario recoger datos de clasificación durante unas pocas horas, y se requiera una gran precisión y fiabilidad en la recogida de datos de un cierto número de clases de vehículos, puede ser más conveniente utilizar personal para realizar una toma de datos visual, especialmente si se trata de hacerlo en entornos complicados, como pueden ser las intersecciones o los enlaces.

La metodología utilizada para la clasificación automática de vehículos consiste en establecer unas reglas de decisión (“árbol de decisión”) basadas en los valores que toman ciertos parámetros del vehículo que pueden ser determinados automáticamente (longitud, nº de ejes, distancia entre ejes, peso total del vehículo, peso de cada eje). Así, si los anteriores parámetros de un vehículo determinado, encajan dentro de los valores umbrales y/o límite de una clase determinada, el vehículo quedará encuadrado en la clase en cuestión.

Cuando el equipo de medida es solamente un aforador de vehículos con lazos de inducción que permiten determinar la longitud del vehículo, la regla de decisión para determinar si un vehículo pertenece a una clase u otra se basa en si su longitud es mayor o menor que un cierto umbral de longitud predefinido. Así, por ejemplo, si se trata de implementar una clasificación en vehículos ligeros o pesados, el vehículo quedará clasificado normalmente como ligero si su longitud es menor de la longitud establecida como umbral y como pesado si es mayor. De esta forma, en la red de carreteras del Estado de España se suele tomar como longitud umbral para diferenciar los vehículos ligeros de los vehículos pesados los 6 m.

En general, con los típicos sistemas de aforo de tráfico basados en lazos de inducción, se puede obtener una clasificación de los vehículos en unos pocos tipos (normalmente solo 2, ligeros y pesados, aunque se puede llegar a distinguir hasta 5 tipos diferentes aproximadamente) basada en su longitud. Mediante los sistemas de pesaje dinámico se puede clasificar de una manera muy detallada a los distintos tipos de vehículos gracias a la capacidad de estos sistemas de medir, además de la longitud, varios parámetros más, como son el número de ejes, la distancia entre ejes, y el peso del vehículo y el de cada uno de sus ejes, lo que permite diferenciar muchos tipos de vehículos de características bastante parecidas.

Actualmente, los equipos de pesaje dinámico suelen llevar incorporado un programa para obtener una composición detallada del tráfico basada en los parámetros anteriormente mencionados. Sin embargo, frecuentemente debe llevarse a cabo un cierto trabajo de adaptación o puesta a punto de su capacidad o funcionalidad de clasificación de los vehículos, por las siguientes razones:

1. Los parámetros que definen a las diferentes clases de vehículos que vienen programadas en los sistemas de pesaje dinámico suelen ser los del tráfico dominante en el país o área geográfica de la empresa fabricante, que normalmente difieren en mayor o menor medida de los del país en el que se está instalando el sistema.
2. Aun en el caso de que los parámetros de los distintos tipos de vehículos coincidan con los fijados (programados) por defecto en el equipo, por coincidir con los del país del fabricante, una vez en la carretera, su valor registrado puede diferir de sus valores reales por la manera en que son captados estos parámetros por los equipos. Esto se debe a que los vehículos pueden circular en diferentes posiciones a lo ancho del carril, que provocan que no siempre pisen los lazos de inducción o los sensores de peso de una forma adecuada, lo que se traduce en imprecisiones en la determinación de los parámetros de los vehículos utilizados para su clasificación.
3. Por otro lado, muchas veces los parámetros que definen los diferentes tipos de vehículos pueden variar algo, aunque sea ligeramente, con respecto a los umbrales máximos o mínimos definidos en la normativa vigente en el país de que se trate; por ejemplo, éste es el caso de la longitud máxima de los vehículos articulados, que frecuentemente sobrepasa a la máxima definida en el Reglamento General de Vehículos, pues al efectuarse el acople del semirremolque a la cabeza tractora mediante enganche en la llamada “5ª rueda”, se puede hacer variar en varios decímetros la posición exacta de ésta.
4. En muchas ocasiones, existe un cierto solape entre las características de los vehículos de varias clases, lo que exige el definir un umbral de separación entre esas clases diferentes que minimice el error en la determinación de la clase a la que pertenece cada vehículo individual.

Una vez expuestas las anteriores consideraciones, a continuación se va a describir el procedimiento que se siguió para desarrollar los esquemas de clasificación de la FHWA, pues fueron unos de los primeros en ser elaborados y, además, el método utilizado para hacerlo es bastante representativo del que se debe llevar a cabo para establecer un sistema de clasificación.

4.3.5.2 Procedimiento seguido para desarrollar los esquemas de clasificación de la FHWA

Como ejemplo de la metodología que se debe seguir para desarrollar un esquema de clasificación automática de vehículos, se detalla a continuación el procedimiento utilizado para elaborar los sistemas de clasificación de la FHWA, pues aparte de ser el primer intento de gran envergadura acometido en este campo, resulta bastante representativo del compromiso al que se debe llegar entre las capacidades de los equipos de aforo para realizar tal clasificación y el número óptimo de clases de vehículos de interés. Este trabajo parte del estudio realizado en septiembre de 1982 por Lyles y Wyman [31], [32] en el que se probaron cinco esquemas diferentes de clasificación, que incluían de 7 a 32 categorías de vehículos. Finalmente se seleccionó el llamado Esquema “E”, que incluía 14 categorías de vehículos, pues se consideró que era el que proporcionaba un número adecuado de clases de vehículos para las capacidades que tenían entonces los equipos de recogida de datos.

Al cabo de un par de años, la Oficina de Planeamiento de Carreteras de la FHWA y varias agencias de diferentes Estados propusieron algunas modificaciones para algunas de las clases de vehículos seleccionadas en el Esquema “E”. En consecuencia, se le encargó a una agencia de un Estado (la División de Materiales e Investigación del Departamento de Transportes de Maine) revisar los posibles cambios y también llevar a cabo un estudio sobre la precisión y calidad del equipamiento disponible en aquel momento para recoger esos datos en la carretera.

Así, el objetivo concreto del estudio fue evaluar la capacidad de 5 aparatos de clasificación de vehículos disponibles en esa época en el mercado, para identificar de forma precisa los tipos de vehículos incluidos en el esquema de clasificación de la FHWA, así como examinar las posibles modificaciones propuestas por la FHWA al esquema “E” de clasificación. Asimismo, tras la revisión del esquema de clasificación, se incluía el desarrollo de las reglas de decisión necesarias para posibilitar la elaboración de los programas de ordenador para clasificar los vehículos de acuerdo con el esquema final.

Primeramente se evaluó la precisión de los equipos de clasificación probados, así como su capacidad de funcionamiento en la carretera sin averías ni problemas durante un periodo típico de recogida de datos, de 1 ó 2 semanas. Los ensayos se llevaron a cabo en una carretera rural de 2 carriles y en una autopista interestatal.

- De los 5 equipos de clasificación probados, dos de ellos contaban con 2 lazos de inducción y un sensor de peso utilizado principalmente como contador de ejes, uno de tipo magnético (de la empresa IRD) y otro de tipo estera (de la empresa Golden River) aunque no se utilizó en el ensayo su capacidad de medir el peso, otros dos sistemas (pertenecientes a las casas

Streeter-Amet y GK Instruments) contaban con tubos neumáticos sobre un solo carril y luego otro utilizaba dos lazos de inducción. Por tanto, cuatro de los clasificadores efectuaban la clasificación a través de medir las velocidades de los vehículos y las distancias entre ejes y el último a través de medir las longitudes solamente.

- Como resultado del estudio, se modificó el esquema original de clasificación "E" y se desarrolló el llamado esquema "F", que incluía la corrección de ciertos errores lógicos en el esquema "E" y que permitía añadir unas clases para las motocicletas y los autobuses.

La evaluación se desarrolló en tres fases:

1.- Revisión inicial de los sistemas

2.- Evaluación de la capacidad de los sistemas para clasificar correctamente a los vehículos. Fue realizada en una carretera del Estado utilizando un remolque para llevar un equipo de grabación de imágenes y fotografía, con el fin de poder registrar y analizar las clases de unos 500 vehículos que pasaron sobre los sistemas.

3.-Evaluación del conteo (aforo) de vehículos a través de la medición del volumen de tráfico en varios periodos de 24 horas, que se llevó a cabo en una vía interestatal en algunos de los sistemas y en la carretera anterior para otros.

Los resultados de los ensayos mostraron que los 4 equipos que agrupaban a los vehículos por ejes pudieron obtener unos porcentajes de clasificación correcta de entre el 91% y el 96% para agrupar a los vehículos según el esquema "F", llegando al 98% de corrección para el sistema que sólo utilizaba la longitud como parámetro de diferenciación, pero únicamente sobre un esquema con 7 clases.

Además, pudo concluirse que el esquema de clasificación "F" constituía un sistema de clasificación aceptable y factible, para el que podían desarrollarse programas lógicos de ordenador para la obtención automática de esta clasificación.

Los sistemas no tuvieron ninguna avería durante el periodo de evaluación. No obstante se detectaron problemas de vehículos perdidos en el conteo cuando circulaban a bajas velocidades (por debajo de unos 30 km/h) o cuando formaban colas. También se incidió en los problemas con los sensores, algunos relacionados con su alto coste (los sistemas magnéticos o las esteras) o la corta vida útiles de los tubos neumáticos, por lo que se concluyó la necesidad de desarrollar contadores de ejes baratos y preferiblemente permanentes o, al menos, resistentes a todo tipo de condiciones atmosféricas.

Uno de los aspectos más sobresalientes y útiles del informe son los diagramas de flujo proporcionados para programar la clasificación de los vehículos según el esquema "F" de la FHWA, que consta de 14 clases diferentes.

Uno de los errores más usuales de mala clasificación experimentado por los esquemas de basados en el conteo y medida de la separación entre ejes es el causado por el solape del número de ejes y las configuraciones de separación entre estos de las

diferentes categorías de vehículos (Lyles y Wyman, 1982). Por ejemplo, el caso más patente es que muchos turismos comparten una configuración de ejes común con los vehículos comerciales ligeros (normalmente furgones), lo que hace que contribuyan a incrementar unos errores significativos de clasificación errónea.

Un estudio llevado a cabo por Kwigizile et al. [27] en 2005 informó de un error de clasificación global del 9,5 % utilizando un método basado en un árbol de decisión para el Esquema de clasificación F de la FHWA mostrado en la Tabla 5. No obstante, hubo una tasa significativa de clasificación errónea entre las clases de vehículos 3 (“otros vehículos de 2 ejes y 4 neumáticos”) y 5 (“camiones simples de 2 ejes y 6 neumáticos”), que como se ha explicado anteriormente, es la que plantea más problemas de diferenciación.

4.3.6 Recientes desarrollos para la mejora y optimización de los procedimientos de clasificación automática

En los últimos años se han ido realizando una serie de estudios para la mejora y la optimización de los procedimientos de clasificación automática de vehículos, que se han desarrollado en dos direcciones distintas:

1. Los procedimientos basados en nuevas tecnologías de sensores de captación de datos.

Los trabajos más prometedores en este sentido han sido los estudios sobre la aplicación de la llamada **huella inductiva de lazo** a la mejora de la clasificación de vehículos, llevados a cabo por un equipo de la Universidad de Irvine (California, EE.UU.).

2. Las metodologías basadas en la aplicación de procedimientos matemáticos de clasificación.

A continuación se explican más pormenorizadamente estas dos líneas de investigación en el campo de la clasificación automática de vehículos.

4.3.6.1 Aplicación de la tecnología de la huella inductiva de lazo a la clasificación de vehículos

Una reciente mejora significativa en los procedimientos de clasificación de vehículos ha sido el llevado a cabo por Hernandez, S., Tok, A, y Ritchie, S [33], un equipo de la Universidad de Irvine, California (EE.UU.) en el que se han utilizado los datos proporcionados por sistemas de pesaje en movimiento instalados en el Estado mencionado, pero no limitándose a los datos normalmente proporcionados por este tipo de sistemas (pesos de los ejes, distancias entre ejes, pesos totales del vehículo, longitud), sino que han utilizado también un nuevo sistema de procesamiento de las señales de los lazos de los equipos de pesaje dinámico, con objeto de obtener lo que se denomina como **firma o huella inductiva de lazo** (inductive loop signature).

En los estudios realizados por los autores mencionados se presenta este nuevo enfoque de integrar datos del pesaje en movimiento (WIM) y los de la huella de lazo inductivo, pues son bastante complementarios.

El objetivo de este estudio era proporcionar una clasificación basada no sólo en los tipos determinados por la configuración de ejes del esquema F de la FHWA, sino en obtener también la **configuración del chasis** (o caja) del vehículo (es decir, si se trata de una cisterna, una plataforma, un portacontenedores, una caja cerrada, etc), pues se ha comprobado que este dato está más relacionado con el tipo de carga transportada, lo que tiene una utilidad adicional.

Los datos de los sistemas de pesaje dinámico proporcionan información sobre la configuración de ejes del camión y de sus pesos; no obstante, la información basada en los ejes no puede asociarse directamente su configuración de chasis ni desde luego con la función del camión, por lo que se recurre a determinar la huella inductiva de lazo para tratar de obtener estos parámetros.

Por otro lado, los detectores usuales de lazo inductivo miden señales bivalentes de los lazos empotrados en el pavimento y son capaces de medir Intensidades (volúmenes) agregadas y ocupaciones. A diferencia de otros muchos otros sistemas de detección, tales como los sensores de imágenes o acústicos, los detectores de lazo son inherentemente exactos, logrando exactitudes en el aforo de vehículos típicamente entre el 98% y el 99% incluso en aplicaciones de sistemas de señales convencionales bivalentes, lo que proporciona una buena plataforma tecnológica para desarrollar el sistema propuesto. Además, como la inductancia magnética es invariable a los cambios de la temperatura, iluminación, visibilidad y humedad, los sistemas de detección basados en lazos de inducción son robustos.

Los detectores avanzados de lazo inductivo miden la variación de la inductancia en un sensor de lazo a tasas de hasta 1.200 lecturas por segundo, produciendo unas señales de salida con forma de onda analógica para cada vehículo (véase la Figura 10), que se designan como **firmas o huellas inductivas o de lazo**. Una ventaja significativa de los detectores avanzados de lazo inductivo es su compatibilidad con los existentes detectores de lazo bivalentes, con lo cual no exige mejoras en la infraestructura. Esto permite que los detectores convencionales de lazo ya existentes puedan sustituirse por los detectores de lazo avanzados sin sufrir ninguna pérdida en la funcionalidad del sistema.

Figura 10. Aspecto de la huella inductiva de lazo de un vehículo articulado de 5 ejes de caja cerrada, obtenida con los lazos de inducción de un sistema de pesaje dinámico. Fuente: [33]

La serie de datos de la huella inductiva de lazo incluye magnitudes interpoladas y diferencias de magnitudes interpoladas. Las huellas se procesan de la siguiente manera: primeramente, se limpia la huella inductiva bruta de un vehículo aplicando un criterio de magnitud de recorte para reducir el ruido de medición en las colas de la huella. Después, se normaliza la huella en el eje vertical según su magnitud pico y en el eje horizontal según la longitud total del vehículo. En tercer lugar, se interpolan de 20 a 30 magnitudes de igual separación. Se computa una segunda serie de características como la diferencia entre puntos consecutivos de magnitud interpolada.

Para los vehículos articulados de 5 ejes de tipo cabeza tractora+semirremolque se utilizan las mediciones de las separaciones entre ejes para analizar las huellas inductivas parciales de la cabeza tractora y del semirremolque. La sección analizada de la huella que representa el semirremolque se procesa de acuerdo al mismo procedimiento de extracción de las características, excepto que se normaliza la huella según el pico de solamente la parte del semirremolque. Esto mejora la exactitud de clasificación, debido a que el modelo no está influido por las características de la cabeza tractora para predecir la clase de chasis del semirremolque.

Integración de ambas fuentes de datos

Dada la complementariedad de los datos del pesaje en movimiento y de los obtenidos de las huellas inductivas de lazo, junto con la configuración física de estos sistemas en que los lazos de inducción están insertados dentro de un sistema WIM, ambos pueden adaptarse con vistas a su integración para aprovechar las sinergias de ambos en una única fuente de datos.

El procedimiento de integración de los datos consta de dos partes: la integración del hardware y el tratamiento de los datos. La integración del hardware implica reemplazar el módulo existente de lazos inductivos bivalentes de la unidad de control del equipo WIM por tarjetas detectoras avanzadas de la huella de lazo inductivo. El manejo de los datos incluye un procesamiento previo de las huellas inductivas y de los registros WIM en una base de datos estructurada, a la que se puede acceder a través de una interfaz de usuario adaptada al cliente.

Resultados preliminares obtenidos del modelo de clasificación del chasis

En un primer caso práctico de clasificación del tipo de chasis del camión, utilizando datos recogidos en California, se trató de demostrar el potencial de la fuente de datos integrados propuesta.

Para evaluar el modelo de clasificación se utilizó como criterio de desempeño la “tasa de clasificación correcta” por clase de vehículo, así como la tasa de clasificación correcta media para el modelo. Se define la tasa de clasificación correcta como el número de vehículos correctamente emparejados divididos por el número total de vehículos. La tasa global obtenida para el modelo de clasificación del chasis del semirremolque de la Clase 9 fue del 75%. Los diversos tipos de chasis dentro de la clase 9 obtuvieron también diferentes tasas de clasificación correcta: las cisternas tuvieron una tasa baja de acierto (70%) y muchas veces fueron clasificadas erróneamente como plataformas básicas. Los contenedores tuvieron también una tasa muy baja de clasificación correcta (36%) y fueron incluidos de forma equivocada como semirremolques de cajas cerradas. Por otro lado, varias clases tuvieron unas altas tasas de acierto en la clasificación como fueron las plataformas básicas, las cajas cerradas, las cajas abiertas, los contenedores de 40 pies, los semirremolques de transporte de vehículos, los de transporte de ganado.

Posteriormente, Hernández, Tok y Ritchie introdujeron mejoras en el procedimiento de clasificación que se acaba de explicar utilizando sistemas de clasificadores matemáticos (de los cuales se hablará en el siguiente apartado) múltiples, según se expone en la ponencia “Multiple-Classifiers Systems for Truck Body Classification at WIM Sites with Inductive Signature Data” [34], presentada en 2015 en el 94 Congreso Anual del TRB, con el fin de aumentar la exactitud de clasificación, especialmente para las clases de chasis menos frecuentes, y para asegurar la transferibilidad espacial y temporal del modelo.

Los resultados obtenidos utilizando los sistemas clasificadores múltiples, expresados en términos de tasa de clasificación correcta, fueron para los camiones rígidos del 98,4% para la clase 4 de la FHWA, 80,3 % para la clase 5 pero sin remolque, 80,0% para la clase 6 y un 100% para la clase 7. Con respecto a los camiones de varias unidades, la clase 8 de la FHWA tuvo una tasa de acierto del 98,4%, la clase 9 del 81,8 % y la clase 10 del 100%. Para las clases 11 y 12 de la FHWA (unidades multi-remolque) la tasa de clasificación correcta fue del 92 %.

4.3.6.2 Técnicas de reconocimiento de patrones para la mejora de la clasificación de vehículos

El problema de clasificar vehículos puede ser considerado como una cuestión de lo que se conoce como “reconocimiento de patrones”. Así, las clases de vehículos manifiestan un cierto patrón, que puede ser procesado para identificarlas.

El reconocimiento de patrones abarca disciplinas tales como el análisis discriminante, el reconocimiento de características, la estimación de errores, el análisis de conglomerados (todas juntas llamadas a veces como reconocimiento estadístico de patrones), la inferencia gramatical y “parsing” (a veces llamada reconocimiento sintáctico de patrones).

Las áreas relacionadas con el reconocimiento de patrones incluyen redes neuronales, inteligencia artificial, visión cognitiva y percepción biológica, estadística matemática y optimización no-lineal.

Se ha investigado sobre la aplicación un cierto número de técnicas de reconocimiento de patrones para determinar su adecuación para su empleo en la clasificación de vehículos, entre las cuales están las siguientes:

- a) las redes probabilísticas neuronales (PNN -probabilistic neural networks-),
- b) la lógica difusa
- c) la regla del vecino más próximo, estimación de los k vecinos más próximos
- d) las máquinas de soporte de vectores (SVM -support vector machines-)

a) Redes probabilísticas neuronales

Una red probabilística neuronal es una técnica de clasificación de patrones que se considera que proporciona un método general para estos problemas de clasificación, combinando algunos de los mejores atributos del reconocimiento estadístico de patrones, que son las redes neuronales de alimentación hacia delante (feed-forward neural networks).

Tras la programación de una red neuronal probabilística, su aplicación conlleva ejecutar las siguientes fases:

- entrenamiento (training),

- ensayo (testing) y
- clasificación.

Precisamente, una de las mayores ventajas de la red neuronal probabilística es su capacidad para realizar una clasificación basada en datos de entrenamiento de vehículos reales obtenidos de la carretera (que, por ejemplo, pueden incluir el número de ejes por vehículo, la separación entre ejes o el peso total del vehículo), pues así se consigue una rápida velocidad de entrenamiento, que el entrenamiento sea incremental para conseguir un funcionamiento rápido y robusto contra los ejemplos que se salen de lo usual y una convergencia garantizada a un clasificador Bayesiano.

La selección puede mejorarse incrementando el número de parámetros, por ejemplo, en el caso de una división de acuerdo con el número de ejes, puede lograrse una mejor selección midiendo un segundo parámetro, como la separación entre ejes.

Existen dos maneras principales de “entrenar” una red neuronal: de forma supervisada y de forma no supervisada. En el procedimiento supervisado, las categorías de entrada son conocidas de antemano, así como las salidas; así, las salidas reales se comparan con las salidas deseadas asociadas con una serie de patrones de entrenamiento. En el procedimiento no supervisado, normalmente conocido como “clustering (agrupación)”, los patrones de entrenamiento se usan solamente como entradas, y se le pide al sistema que agrupe las entradas sin indicación de cuál es la respuesta correcta o equivocada. Básicamente, el aprendizaje no supervisado persigue encontrar una cierta clase de regularidad en los datos representados por los patrones de entrenamiento.

Aplicándolo a la clasificación de vehículos, como las clases de salida son conocidas (es decir, se pide clasificar a los vehículos, por ejemplo, según el “Esquema F” de categorías mostrado en la Tabla 5), se “entrena” a la red neuronal probabilística de forma supervisada.

Para ello, se debe escoger como serie de datos de entrenamiento una que contenga como datos de entrada los de los vehículos representativos de cada clase.

Kwigizile et al. [27] propusieron en 2005 un método que utiliza Redes Neuronales Probabilísticas para obtener los umbrales de separación óptimos entre ejes para las diferentes clases de vehículos del Esquema F de la FHWA.

Como se ha comentado anteriormente, el esquema “F” es el utilizado por la mayor parte de los Estados para clasificar a los vehículos, y se utiliza para obtener el espectro de cargas por ejes pedido. Sin embargo, en la práctica se ha visto que es difícil de automatizar la obtención de este esquema “F” y además es bastante susceptible de que haya errores debidos a la imprecisa determinación de los valores umbrales de las distintas clases.

Por ello, en el trabajo de Kwigizile se consideró al problema de clasificación como un problema de reconocimiento de patrones, en el que se podía utilizar las redes neuronales probabilísticas – RNP - (Probabilistic Neural networks –PNN-) como técnica de reconocimiento para asignar a los vehículos a sus clases correctas y, de aquí, establecer los umbrales óptimos de separación de ejes.

Para ello, se desarrolló, entrenó y aplicó una red neuronal probabilística a varios grupos de datos de campo que constaban de separación entre ejes de vehículos individuales, número de ejes por vehículos y peso total del vehículo.

Se escogieron dos series de patrones de entrenamiento:

- e) uno con la separación entre ejes y el número variable de ejes y
- f) otra serie que incluía, además de las anteriores, también el peso total del vehículo.

La selección de los patrones de entrenamiento fue realizada cuidadosamente para coger los vehículos representativos que reflejaran todas las características exigidas a los vehículos de cada clase.

Se evaluó la red neuronal en dos etapas:

1. Actuando la red neuronal probabilística sobre una serie de datos que incluía solamente dos variables: el número de ejes y la separación entre estos, que son las mismas variables que las utilizadas Departamento de Transportes de Florida por el para la clasificación.
2. En la segunda etapa, la RNP actuó sobre otra serie de datos que incluía el peso total del vehículo además de las 2 variables anteriores. El propósito de emplear el peso total del vehículo fue ayudar a mejorar la demarcación de los umbrales entre las clases. Obviamente, esto solo se puede realizar cuando se dispone de equipos de pesaje dinámico.

La aplicación del sistema clasificación basado en la red neuronal redujo la tasa de error del algoritmo de clasificación existente utilizado por el Departamento de Transportes del Estado de Florida (FDOT) del 9,7% al 6,1% cuando se utilizaban como datos de entrada para la clasificación el número de ejes de los vehículos y la distancia entre ejes. Los errores restantes se debían aún al solapamiento de la configuración de ejes entre clases, lo que indica que la clasificación de vehículos no es un problema separable utilizando la configuración de ejes del vehículo como único criterio de discernimiento.

Cuando se incluyó también el peso total del vehículo como variable adicional de clasificación se redujo el error del 6,1% al 2,9%.

Como se ha comentado, esto sólo es aplicable en emplazamientos que dispongan de equipos de pesaje dinámico que puedan recoger el dato del peso total del vehículo, lo que permite incrementar la separabilidad de los vehículos en el análisis de la RNP, para que se puedan definir mejor los umbrales de espaciamiento entre los ejes. No obstante, una vez que se han calculado los nuevos umbrales siguiendo esta técnica, no sería necesario usar el peso como variable en el algoritmo de clasificación, por lo que bastaría con realizar un pesaje de corta duración con un sistema de pesaje dinámico portátil.

Estos resultados fueron utilizados para establecer nuevos umbrales que redujeran la tasa de error de clasificación. La tabla propuesta de umbrales de clasificación de los

vehículos fue validada utilizando datos de campo adicionales, obteniéndose una mejora significativa en la precisión de la tabla de clasificación de vehículos en comparación con el procedimiento llevado a cabo hasta entonces por el Departamento de Transportes de Florida. Por otro lado, se concluyó que la tabla desarrollada de valores umbrales permitiría obtener de forma coherente unos datos más precisos de clasificación de vehículos utilizando un equipo de cualquier marca.

Uno de los inconvenientes de utilizar un modelo de clasificación como el descrito puede ser el menor rendimiento (precisión) que se obtiene bajo condiciones diferentes del tráfico o en lugares donde las distribuciones de los tipos de vehículos son significativamente distintas.

b) Lógica difusa

La utilización de la lógica difusa a la clasificación de vehículos trata de resolver el problema que se presenta normalmente de que el conjunto de parámetros característicos de un vehículo suele poder asignarse a más de una de las categorías de clasificación establecidas, con lo cual el problema de clasificación no es unívoco, sino multiunívoco, impreciso y, en definitiva, difuso.

En los procedimientos normales de clasificación, la decisión sobre en qué categoría o tipo se debe encuadrar un vehículo determinado se toma basándose en la lógica clásica (“verdadero” o “falso”), lo que muchas veces puede ser la causa de la baja efectividad de tales algoritmos de decisión.

Para resolver esto, en el planteamiento de la lógica difusa se establece una función de pertenencia (membership) que asigna a cualquier elemento del espacio de una serie de valores un grado de pertenencia a la serie difusa dada: desde la no pertenencia (valor 0), pasando por una pertenencia parcial (valor entre 0 y 1) a la pertenencia completa (valor 1).

Un ejemplo de procedimiento de clasificación de vehículos utilizando la lógica difusa fue el desarrollado por Piotr Burnos [26], ya comentado en el apartado sobre las aplicaciones del pesaje dinámico a los estudios de tráfico y clasificación de vehículos, cuyos resultados fueron presentados en la Conferencia sobre el Pesaje en Movimiento celebrada en 2008 en París.

Los procedimientos normalmente utilizados para la clasificación de vehículos se basan en la medición de unos parámetros característicos del vehículo, tales como el número de ejes, su separación o el perfil o huella magnética, los cuales conforman el llamado “vector de parámetros característicos”. La decisión de si un vehículo entra dentro de una categoría dada se toma comparando el vector característico con el vector modelo de esa categoría.

El caso más simple de lo anterior es una división simple en vehículos grandes y pequeños basada en la medida de un solo parámetro, normalmente la longitud. La selección puede mejorarse incrementando el número de parámetros, por ejemplo, en

el caso de una división de acuerdo con el número de ejes, puede lograrse una mejor selección midiendo un segundo parámetro, como es la separación entre los ejes.

El proceso de clasificación es, por tanto, multifásico y jerarquizado y la decisión se toma basándose en la lógica clásica ("verdadero" o "falso"), lo que de acuerdo con P. Burnos es la causa de la baja efectividad de tales algoritmos de decisión, que no sobrepasa el 60-70 %.

Sin embargo, dado que la asignación única de un elemento a una serie de datos no es aplicable a este problema, P. Burnos propone emplear la lógica difusa como una medida de la difusión, los valores múltiples y los conceptos imprecisos.

Así, de acuerdo con el planteamiento de la lógica difusa, se establece una función de pertenencia (membership) que asigna a cualquier elemento del espacio de una serie de valores un grado de pertenencia a la serie difusa dada: desde la no pertenencia (valor 0), pasando por una pertenencia parcial (valor entre 0 y 1) a la pertenencia completa (valor 1).

En la teoría de las series difusas, la transición desde la no pertenencia a la pertenencia es gradual en vez de abrupta, como ocurre en las series no-difusas. La forma de la función de pertenencia depende del problema considerado y puede tomar una forma que varía desde una función analítica simple a relaciones complejas que son combinaciones de muchas funciones simples. Al mismo tiempo, no hay reglas exactas para elegir la forma exacta de la función de pertenencia; el procedimiento es altamente subjetivo y no formalizado, lo que constituye el principal inconveniente de este método.

Para los propósitos del algoritmo de clasificación automática de vehículos, P. Burnos seleccionó una forma triangular y trapezoidal para la función de pertenencia. Aplicando la lógica difusa con esta función de pertenencia al problema de la clasificación de los vehículos del tráfico pesado de las autopistas polacas, llegó a una tasa de acierto casi del 95%.

c) Regla del vecino más próximo

En la regla del vecino más próximo, la decisión para clasificar una entrada x en la clase c_i depende solamente de una recogida de datos de entrenamiento correctamente clasificados y etiquetados.

Si se supone que $S_m = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ es una serie de muestras de entrenamiento y que $x' \in S_m$ es la muestra de entrenamiento más próxima a una entrada x , entonces, la entrada x es clasificada asignándole una etiqueta similar a x' . No obstante, la regla del vecino más cercano es un procedimiento sub-óptimo, porque su empleo conduce a un error más grande que el mínimo posible, que es, el índice de Bayes.

La regla de los k vecinos más cercanos es una extensión de la regla del vecino más cercano. En este planteamiento, una entrada x es clasificada asignándole la etiqueta más frecuentemente representada entre los k ejemplos más próximos. Esta técnica

implica encontrar una hiperesfera alrededor del punto x que contenga k puntos y entonces asignar x a la clase que tenga el mayor número de representantes dentro de la hiperesfera. La desventaja de la regla de los k vecinos más cercanos es que la estimación resultante no es una verdadera densidad de probabilidad. Para obtener una densidad de probabilidad verdadera, se requiere una probabilidad previa.

d) Máquinas de soporte de vectores

Las Máquinas de Soporte de Vectores (Support Vector Machines –SVM-) trazan el mapa de la entrada x en un espacio de características de muchas dimensiones a través de un cálculo no lineal escogido a priori. En este espacio, se construye un hiperplano de separación óptima. Si los datos de entrenamiento son separables linealmente, un hiperplano óptimo separa los datos sin error y la distancia entre el hiperplano y el punto de entrenamiento más cercano es máxima.

La mayor limitación de la máquina de soporte de vectores están en la elección del núcleo para el entrenamiento del algoritmo. Dado que el núcleo es la gran alfombra bajo la cual se arrastran los parámetros, se requiere un conocimiento previo para escoger la mejor función para un problema dado.

La velocidad, el tamaño y el diseño estructural general para las máquinas de soporte de vectores multi-clases también plantean limitaciones adicionales que desaniman el empleo de SVMs incluso con problemas moderados de clasificación.

4.4 Revisión de trabajos e investigaciones dirigidos a estimar las cargas transportadas por los vehículos pesados

Hasta fechas muy recientes no se han publicado trabajos dirigidos a estimar, de forma más o menos automatizada, las cargas transportadas por los vehículos pesados, probablemente porque se pensaba que era un objetivo muy difícil de lograr con una cierta precisión, ya que requiere una clasificación detallada de los vehículos, que debe de realizarse también automáticamente, y una determinación bastante exacta de los pesos de los vehículos, lo cual no se ha logrado hasta el perfeccionamiento y sistematización de la técnica del pesaje dinámico. Por otro lado, la primera aplicación de los sistemas de pesaje dinámico ha sido obtener las cargas que soportan los firmes de las carreteras, para lo que solamente es necesario conocer el peso bruto total de los vehículos y los pesos de cada uno de sus ejes, mientras que la determinación del peso de la carga transportada exige un estudio y una elaboración adicionales.

Una primera aproximación al estudio de las cargas transportadas por los vehículos a partir de los datos proporcionados por los sistemas de pesaje dinámico hay que buscarla en los gráficos de las distribuciones de frecuencias (normalmente representados en forma de histogramas) de los distintos intervalos de peso de los vehículos y de los ejes. Es importante señalar que estos estudios no tenían como

objetivo principal el estudiar las cargas transportadas, sino que iban dirigidos a tratar de encontrar posibles regularidades o periodicidades en las distribuciones de los pesos de vehículos y ejes, como medio para poder detectar cualquier error o deriva de los datos suministrados por los sistemas de pesaje dinámico instalados y funcionando durante largos periodos en la carretera, donde pueden surgir numerosos problemas de descalibración de los equipos. Es decir, el objetivo de estos estudios era garantizar la calidad de los datos recogidos por los sistemas de pesaje dinámico.

Así, al observar la forma de estas distribuciones de frecuencias de pesos de cada clase de vehículos, se pudo observar que existen dos máximos (modas) de frecuencias [35] [36]: uno situado cerca de los pesos en vacío de cada tipo de vehículo y el otro localizado en las inmediaciones del peso máximo admitido para cada clase de vehículo. Este tipo de distribución bimodal también se puede ver en las distribuciones de frecuencias de los pesos de cada tipo de eje (simples, tándem, tridem). Todo lo anterior parecía indicar que la distribución de las frecuencias de los pesos de cada tipo de vehículo (o de cada eje) se podía dividir en una distribución correspondiente a los vehículos que circulaban en vacío y otra distribución correspondiente a los vehículos que circulaban cargados.

Este tipo de distribuciones de frecuencia de los pesos de los vehículos se han tratado de ajustar a diferentes distribuciones estadísticas (distribuciones beta, normal y lognormal [36]) con objeto de aprovecharse de las propiedades de estas distribuciones y poder efectuar correcciones (o más bien recalibraciones) de los datos a partir de unos pocos resultados fiables obtenidos con ensayos con vehículos de peso conocido.

Figura 11. Distribución de frecuencias de los pesos de los vehículos articulados de 5 ejes (tipo 3S2) en las carreteras interestatales de Estados Unidos. Fuente: [35]

En Estados Unidos, las distribuciones de frecuencia de pesos de los vehículos de la clase 9 de la FHWA (tipo 3S2 –articulado de 5 ejes con cabeza tractora de 3 ejes y

semirremolque con dos ejes, que forman un tándem-) muestran (véase la Figura 11) que el pico correspondiente a los vehículos vacíos tiene lugar entre las 12,7 y las 14,5 t, mientras que el pico de frecuencia correspondiente a los vehículos cargados tiene lugar un poco por debajo del límite legal de peso para esa clase de vehículos, que son 36,4 t (80.000 libras). La posición de estos valores máximos es muy fija (tanto, que se puede utilizar para determinar si el sistema de pesaje está funcionando adecuadamente o está bien calibrado), pues muy pocos camiones van a circular con cargas muy pequeñas, porque es antieconómico. Normalmente, se mantiene también la carga media transportada por tipo de vehículo, aunque el mismo autor cita unos ejemplos de casos en que puede variar esta carga media [37], como son un cambio en el tipo de mercancías transportadas (lo que suele ocurrir en zonas agrícolas en las épocas de recolección) o una reducción temporal en el límite de peso legal debido a la presencia de obras o a los periodos de hielo/deshielo en las carreteras de ese país.

Por otro lado, en el estudio llevado a cabo en Estados Unidos era menos importante la altura de estos máximos (es decir, la frecuencia relativa correspondiente) a efectos de calibración de los equipos (pero no a efectos de conocer la carga transportada, que es el caso de esta Tesis), debido a su variabilidad, ya que esta frecuencia puede cambiar notablemente con las condiciones del ciclo económico del país, que afectan al índice de camiones cargados en relación con los descargados.

Hay que señalar que estas distribuciones bimodales son más patentes en unas clases de vehículos y de ejes que en otras. Así, se puede ver muy claramente en la distribución de los pesos de los vehículos articulados de 5 ejes, los más utilizados en Europa y en España para el transporte de largo recorrido, así como en la distribución de los pesos de los ejes tándem (véase la Figura 12) y trídem, que casi siempre están situados en la parte trasera de los semirremolques a los cuales les afecta en mucha mayor medida el peso de la carga del vehículo.

Figura 12. Distribución de frecuencias de los pesos de los ejes tándem de los vehículos articulados en las carreteras nacionales de Sudáfrica. Fuente: [36]

Sin embargo, es más difícil de apreciar la bimodalidad de la distribución de pesos en los vehículos rígidos de 2 ejes, debido en primer lugar a que dentro de esta categoría de vehículos, existen camiones de tamaño muy diferente con un amplio rango de taras, mezclándose en la distribución los pesos en vacío de los camiones de dos ejes más grandes con los pesos a plena carga de los camiones de dos ejes más pequeños. También es más difícil de observar esta bimodalidad en la distribución de los pesos de los ejes simples, pues muchos de estos ejes corresponden a los ejes delanteros direccionales de los vehículos, a los cuales les afecta menos el peso de la carga, por lo cual el máximo correspondiente al peso en vacío de este tipo de ejes es muy acusado y, como el peso de la carga transportada que se apoya en estos ejes es menor, el máximo de frecuencia de los ejes simples cargados está muy cerca del máximo correspondiente al peso en vacío.

Por tanto, las distribuciones reales de frecuencias de los pesos de cada clase de vehículos y tipo de ejes son una composición de las distribuciones de los vehículos que circulan vacíos o casi vacíos con la de los vehículos que circulan cargados. No obstante, esto no debe entenderse como que los vehículos circulan totalmente vacíos o totalmente cargados [38], sino que se dan también las situaciones intermedias de vehículos circulando a media carga (por ejemplo, a veces esta media carga puede ser en peso, pero el vehículo puede ir completamente lleno de carga en volumen), aunque como se puede observar al ver las distribuciones de frecuencia de pesos, la probabilidad de encontrar a un vehículo medio cargado es menor que la de que vaya vacío o a plena carga.

Figura 13. Imagen esquemática de las distribuciones de peso de los vehículos que circulan cargados y de los vehículos que van vacíos. Fuente: [38]

Debido a esta circunstancia, muchas veces es difícil distinguir cuándo van los vehículos “algo cargados” o “más bien vacíos” en los análisis de las distribuciones de frecuencias

de los pesos, por lo que las administraciones de carreteras o de transportes decidieron establecer un valor umbral o límite [38] (por ejemplo, en Estados Unidos es conocido como “break point” o punto de rotura o de inflexión), por debajo del cual los vehículos de una clase determinada son tratados como “descargados” o “vacíos”, mientras que los vehículos cuyo peso supera este valor umbral son tratados como “cargados”. Así, algunas administraciones establecieron el término “nivel de descarga” como el porcentaje de vehículos que serían tratados como descargados, por tener un peso por debajo de un cierto umbral de carga. Este porcentaje es también al área por debajo de un cierto umbral en la distribución de frecuencias de los pesos brutos de una cierta clase de vehículos. Este umbral no es algo fijo, sino que se establece más o menos arbitrariamente, dependiendo del estudio y su aplicación.

Un siguiente paso ya dirigido específicamente a estimar las cargas transportadas por los vehículos según circulaban en la carretera fue el ya mencionado intento realizado por el CEDEX con ocasión de la última campaña de pesaje dinámico realizada en la red de carreteras del Estado, por encargo de la Subdirección General de Planificación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. En este trabajo, el CEDEX desarrolló un procedimiento semiautomático para calcular la carga transportada por los camiones en la muestra visual que se tomaba durante 6 horas en cada emplazamiento de instalación de los equipos de pesaje en movimiento, según fue explicado en una ponencia [39] presentada en la Conferencia sobre el Pesaje en Movimiento celebrada en París en mayo de 2008.

Este procedimiento consistía primeramente en tomar visualmente, mediante observadores entrenados, la tara y la masa máxima admitida (MMA) de muchos de los camiones (leyendo la información que figuraba al respecto en una chapa colocada en el lateral en la cabina) que pasaban sobre el sistema de pesaje dinámico, anotando al mismo tiempo la hora exacta (incluyendo minutos y segundos) de paso de cada camión muestreado, con objeto de poder identificarlo en el listado de salida del equipo y así poder obtener su peso bruto total. Luego, se obtenía en gabinete la carga transportada por cada vehículo restando la tara del peso total del vehículo. Además, también se obtenía la capacidad total de carga de cada camión restando la MMA menos la tara. El objeto era comparar la carga transportada estimada con la capacidad total de carga, para determinar el estado de carga (mediante el cociente de la carga transportada entre la capacidad total de carga) con la que circulaba cada vehículo.

Los principales datos obtenidos sobre una muestra de más de 27.000 camiones se muestran en la Tabla 10. El resultado obtenido más importante fue que la carga media transportada por los vehículos articulados (formados por cabeza tractora + semirremolque) era mayor que la carga media transportada por los trenes de carretera (formados por un camión rígido + remolque) a pesar de la mayor capacidad de carga de estos últimos, lo que indica que estos vehículos tienden a transportar cargas de mayor volumen pero de menos peso.

Tabla 10. Principales resultados, incluyendo la carga media transportada por cada clase de vehículo, obtenidos con el procedimiento semiautomático establecido en 2000-2003 por el CEDEX

Tipo de Vehículo	Nº de vehículos (muestra visual)	Peso bruto medio (t)	Desviación típica (%)	Carga media transportada (t)	Desviación típica (%)
Vehículos rígidos	8.400	14,6	8,66	6,5	6,54
Vehículos articulados	17.785	31,6	10,63	16,9	10,73
Trenes de carretera	832	28,9	9,01	14,9	10,02

Naturalmente, el principal inconveniente del método descrito de estimación de cargas llevado a cabo por el CEDEX en la campaña de pesaje 2000-2003 estribaba en que requería la utilización de personal para la observación y toma visual de los datos de tara y MMA de la chapa lateral de cada camión, por lo que su aplicación no podía ser continua ni generalizada a toda la red.

Pasando ahora a describir los pocos estudios que incluyen investigaciones para estimar las cargas transportadas, el primero de ellos es el elaborado F. Schmidt, B. Jacob y F. Domprobst [40], y presentado al 6º Congreso europeo TRA (Transport Research Arena), celebrado en abril de 2016 en Varsovia, en el que se mostraron los resultados de una investigación financiada por el fabricante francés de neumáticos Michelin, cuyo objetivo principal era conocer el reparto real de las cargas entre los distintos ejes y ruedas de los camiones en condiciones normales de uso (es decir, tanto cuando circulan en vacío, como a media carga y a plena carga), con objeto de optimizar el desgaste de los neumáticos. Este estudio ha sido realizado en Francia, basándose en los datos sobre más de 3 millones de vehículos pesados, suministrados por varias estaciones fijas de pesaje dinámico.

Para conseguir determinar los repartos reales de las cargas entre los distintos ejes en primer lugar se realizó una clasificación muy detallada de los camiones de acuerdo con su silueta, número de ejes y configuración de los ejes (simples, tandem y tridem) y de las ruedas en cada eje (sencillas normales, sencillas anchas o rudas gemelas), tratando de diferenciar entre los ejes direccionales, los ejes tractores y los demás ejes de un vehículo. Combinando los anteriores criterios, se consiguió clasificar a los vehículos en 19 categorías, tratando en el estudio de determinar las proporciones de cada tipo o categoría de vehículo en el tráfico de los distintos tipos de carreteras (autopistas, carreteras convencionales de 2 carriles) y de itinerarios (de tráfico nacional o internacional).

El siguiente paso fue determinar la distribución real de la carga transportada por los vehículos registrados por los equipos de pesaje dinámico de las estaciones escogidas en el estudio y localizar su centro de gravedad, con objeto de que el fabricante de neumáticos pudiera mejorar su conocimiento de las condiciones de carga de los

camiones. Para ello, se siguió el siguiente procedimiento experimental:

1. Se identificó la población de camiones que circulaban vacíos, con objeto de determinar la tara de cada tipo de vehículos. Para ello, se consideró que circulaban vacíos el percentil del 5% del peso bruto registrado por el sistema de pesaje dinámico para los vehículos de cada categoría.
2. Se determinó la distribución por ejes del peso del camión para los que circulaban vacíos, calculándose el peso medio de cada eje según su orden de colocación en el camión (así, el eje más delantero es el primer eje, el siguiente será el segundo eje y así sucesivamente hasta el orden del eje situado más atrás)
3. Determinación de la distribución de la carga transportada en cada eje: para cada categoría de vehículo, se restaron las cargas por eje calculadas en el punto 2 (es decir, las cargas por eje en vacío) de las cargas por eje medidas de los camiones cargados.
4. Separación entre ejes: se calculó la distancia entre cada dos ejes según su orden de colocación en el vehículo para cada categoría de camión.
5. Localización del centro de gravedad de la carga transportada: con los resultados de las fases 3 y 4, se calculó el centroide de la carga transportada repartida por ejes, añadiéndose la distancia (abscisa) del paragolpes delantero al primer eje para obtener la abscisa del centro de gravedad de la carga transportada.

Una vez calculados los datos anteriores, se obtuvieron los histogramas de frecuencias de las cargas transportadas por intervalos de carga para cada categoría de camión. Así, tal como se ha comentado antes, se encontró que la distribución de frecuencias de la carga transportada para los camiones rígidos de 2 ejes era prácticamente monomodal (o con 2 modas muy cercanas entre las 2 t y las 5 t), con una cola larga hacia las cargas mayores, mientras que en los vehículos articulados de 5 ejes (la categoría de camiones más común en Europa para el transporte de largo recorrido) la distribución de frecuencias de las cargas era claramente bimodal, tal como se ha dicho antes, con uno de los picos (modas) correspondiente a los vehículos que circulan vacíos, mientras que el otro pico de las cargas transportadas aparece sobre las 26 t (para los vehículos a plena carga), a la que si se añaden las 14 t de peso en vacío (tara) de este tipo de vehículo, dan un peso bruto total muy cercano al límite legal (40 t). Estos resultados confirman los obtenidos en estudios realizados al respecto en los diferentes países (incluido España).

Una de las cuestiones que se trataba de averiguar era si los camiones circulan llenos por el volumen de carga o por el peso bruto máximo. De las distribuciones anteriores se pudo deducir que los camiones rígidos de 2 ejes circulaban prácticamente llenos en volumen antes de alcanzar su peso máximo admitido (las modas de la carga transportada eran 2 t y 5 t), mientras que los articulados de 5 ejes circulaban a plena carga por su peso máximo. Se confirmó asimismo que alrededor del 20% de los vehículos medidos circulaban a plena carga.

El otro trabajo importante a este respecto ha sido el publicado recientemente por S. Hernandez [41] de la Universidad de Arkansas, y presentado en enero de 2017 en la Reunión Anual del TRB, en el cual se trata de desarrollar un método para obtener las cargas transportadas, que no dependa, al menos de forma directa, de encuestas a los camioneros, pues según se comenta en el estudio, cuesta mantenerlas actualizadas y además se considera que son poco representativas. El objetivo de obtener estas cargas transportadas por los camiones es mejorar los factores de conversión de los cifras de camiones a las de toneladas, que son unos datos de entrada críticos para los modelos de previsión de transporte de los distintos tipos de mercancías.

Así, en la citada investigación se comenta que los modelos de previsión de transporte de mercancías que vienen definidos en el sistema de análisis del transporte de mercancías (FAF -Freight Analysis Framework-) de Estados Unidos se basan fundamentalmente en una encuesta realizada a nivel nacional sobre los tipos de vehículos de transporte existentes y su utilización, conocida como “Vehicle Inventory and Use Survey (VIUS)”, similar a la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera en España. En la encuesta VIUS se definen unas cargas medias específicas para cada mercancía, y constituye la única combinación existente de fuentes de datos sobre el peso de los camiones, su configuración, los vehículos-km recorridos y los datos de mercancías. En consecuencia, los grados de utilización de cada vehículo se basan únicamente en unos factores de conversión de vehículos (camiones) a toneladas transportadas, que son específicos para cada mercancía, configuración del vehículo (en cuanto a número de ejes y separación entre estos) y tipo de chasis del vehículo.

Para superar, la dependencia de los datos de esta encuesta, se postula en la citada ponencia que los medios tecnológicos y metodológicos que se han ido desarrollando en los últimos años permiten medir las configuraciones de los camiones, los tipos de mercancía y los pesos, lo que permite ser una alternativa viable a las encuestas. Los nuevos métodos varían desde la implantación de tecnologías de sensores avanzados en los emplazamientos de pesaje dinámico a nuevos procedimientos matemáticos basados en los datos usuales de los pesajes dinámicos.

El método que se propone en este documento consiste en obtener las cargas transportadas por cada tipo de camión y de chasis (caja cerrada, frigorífico, plataforma, cisterna, etc) restando un peso en vacío estimado de un peso total medio también estimado. Tanto el peso en vacío como el peso cargado se obtienen a partir de un modelo de ajuste de tipo gaussiano que se ajusta a la distribución de frecuencias de pesos de cada tipo de camión, que como se ha comentado, para cada tipo de camión es de tipo bimodal (con un pico de frecuencias correspondiendo a los camiones que circulan vacíos y el otro es cercano al peso máximo admitido para ese tipo de vehículo, y corresponde a los camiones que circulan cargados).

En el artículo se expone en detalle el análisis para los camiones pertenecientes al tipo más típico utilizado en Estados Unidos, que es el articulado de 5 ejes con cabeza tractora de tres ejes y semirremolque de dos ejes (también conocido como 3-S2), formando un tándem en la parte trasera y que corresponde a la Clase 9 del esquema “F” de la FHWA. Este camión es algo diferente al más típico utilizado en España y

Europa en general, que es también el articulado de 5 ejes, pero en el caso europeo éste dispone de una cabeza tractora de 2 ejes solamente y un eje trídem en la parte trasera del semirremolque. En el estudio se incluye el reparto entre los distintos tipos de configuración de chasis (caja) del vehículo (que definen el tipo de mercancía transportada), los pesos en vacío y a plena carga, así como los pesos resultantes de las cargas transportadas.

Para realizar esta estimación de carga transportada por cada tipo de vehículo y configuración de chasis, previamente se debe obtener una clasificación muy detallada de los camiones según estos dos parámetros. Aunque esta clasificación de los vehículos se obtiene a partir de los pesajes dinámicos, no proviene exclusivamente de los datos típicos suministrados por este tipo de sistemas (los pesos y las distancias entre ejes, ambos obtenidos por los sensores de peso), sino que además se utiliza la función avanzada de los sistemas de lazos de inducción presentes en los equipos de pesaje dinámico que se ha explicado en el Apartado 4.3.6.1, que permite obtener lo que se llama **“huella” o “firma” (signature) de lazo** correspondiente a cada tipo de vehículo, que puede correlacionarse con el tipo de chasis del vehículo, posibilitando una clasificación mejorada y algo más precisa.

Por otro lado, en este estudio para calcular las cargas transportadas a partir de los datos de pesos medidos, debe restarse el peso del camión descargado del peso del camión cargado. Mientras que el peso cargado (normalmente el peso bruto del vehículo) puede obtenerse de las básculas dinámicas, se comenta que es más difícil determinar el peso descargado. En teoría esto podría determinarse si se conociera la marca, modelo y año de fabricación de cada camión que pasa sobre el emplazamiento de pesaje, pero esto no es practicable. En lugar de esto, se comenta que podrían utilizarse existen unos llamados “break-points” estáticos o puntos umbral o de inflexión utilizados en la encuesta del Sistema de Información de los Viajes de los Vehículos (TRIS -Vehicle Travel Information System-) de la FHWA, para determinar si un camión está vacío o cargado, aunque existe el inconveniente de que estos puntos de inflexión estáticos no tienen en cuenta la variación geográfica de las configuraciones de los camiones o de las mercancías transportadas.

En vista de esta situación, se menciona que, como solución alternativa, los métodos han desarrollado una representación de las distribuciones de frecuencias de los pesos brutos de los vehículos como mezcla de dos o tres distribuciones normales de frecuencias, en las que cada distribución representa una clase de carga específica: la distribución inferior representa los camiones vacíos, la distribución media representa los camiones parcialmente cargados y la distribución superior representa los camiones cargados.

En resumen, en el artículo se presentan dos mejoras a la estimación de los factores de conversión de camión a toneladas (TEFs), ambos basados en la inclusión de los datos de los pesos medidos en el procedimiento de estimación. Primeramente, las proporciones de cada tipo de chasis de vehículo medidos dentro de cada grupo (tipo) de vehículo, estimadas según el procedimiento de medir la huella inductiva de lazo. En segundo lugar, un procedimiento para extraer las cargas transportadas de las distribuciones de los pesos brutos medidos por cada tipo de chasis, aunque en la

ponencia solo se desarrolla esto para los vehículos articulados de 5 ejes. Con respecto a la carga transportada, ésta fue calculada restando el peso en vacío de cada tipo de vehículo (desglosado cada tipo en subtipos según el tipo de chasis, es decir, no se utiliza únicamente el peso global del tipo) del peso en carga estimado.

Como resultado de todo el procedimiento, se ha obtenido primeramente que las cargas transportadas registradas con los pesajes dinámicos son algo menores que las obtenidas en las encuestas del VIUS. Con respecto a este resultado, es necesario señalar que va en sentido contrario al que se obtuvo en España, en la Red de Carreteras del Estado, al llevar a cabo el método semi-automático de estimación de las cargas transportadas en la última campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX, en la que se obtuvo que las cargas transportadas obtenidas de los pesaje eran apreciablemente más altas que las declaradas por los camioneros en la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera.

Así, en primer lugar, se ha visto en Estados Unidos que los pesos de los vehículos cargados en las encuestas VIUS (con respuestas corregidas de alguna forma) indicaban que el peso medio cargado era de 80.000 libras (36.240 kg), el límite de carga para esa clase de vehículos, lo que se daba en un 34% de las muestras, mientras que los pesos medidos con el sistema WIM se ajustaban a una distribución normal centrada cerca de las 70.400 libras (31.900 kg) con un pequeño pico cerca en las 80.000 libras. Además, se comprobó que había una alta variabilidad de los pesos según el tipo de mercancía al que estaba dedicado el vehículo (por ejemplo, los camiones de transporte de vehículos tuvieron unas distribuciones de pesos diferentes, de tipo trimodal), lo que indica que si se hace el cálculo para un tipo de vehículo sin tener en cuenta las diferencias en la mercancía puede resultar en unas estimaciones algo sesgadas de la carga transportada.

En segundo lugar, en este método resultó más problemática la determinación de los pesos en vacío. Para calcular estos pesos en vacío, se les hizo corresponder con el valor medio de la distribución normal de la cola más baja de la distribución de frecuencias de los pesos brutos de la clase de vehículo. Con la excepción de los camiones dedicados al transporte de troncos, los pesos en vacío medidos resultaron sistemáticamente mayores que los que muestra la encuesta VIUS. Sin embargo, para todas las series de datos, los pesos medios en vacío cayeron por debajo del punto umbral (o de rotura) en la encuesta VTRIS (Vehicle Travel Information System) definido en las 37.500 libras (unos 17.000 kg aproximadamente) para los camiones de 5 ejes vacíos.

Tras determinar la carga transportada restando del peso suministrado para cada vehículo su correspondiente peso en vacío según el subtipo de vehículo y chasis que corresponda, se calcularon los errores en el valor de esta carga transportada, como la suma de las varianzas de las distribuciones normales representando los camiones vacíos y cargados. Las cargas transportadas que fueron estimadas de los datos de pesos medidos por el sistema WIM fueron sistemáticamente menores que las obtenidas de la encuesta VIUS, con la excepción de los camiones de transporte de troncos. Este resultado se debe a que los pesos de los camiones cargados obtenidos de los pesajes fueron generalmente menores que los de la encuesta VIUS, mientras que

las estimaciones de los pesos en vacío fueron más altas que los de la encuesta VIUS, con lo cual la diferencia entre ambos términos fue menor.

5 Desarrollo de los procedimientos de estimación automática

5.1 Desarrollo de un procedimiento automático de clasificación de vehículos mediante pesaje dinámico

5.1.1 Consideraciones generales

La clasificación detallada o silueta del tráfico es uno de los datos más importantes que pueden ser obtenidos en cualquier estudio de la circulación, que se puede utilizar para el planeamiento, proyecto, conservación y explotación viaria.

Normalmente cada país recoge y analiza los datos de clasificación de vehículos basándose en unas pautas propias, pues las características de los vehículos pueden diferir de un país a otro, ya que los tipos y modelos de camiones utilizados se ven muy influidos tanto por las actividades económicas (algunos tipos de camiones están diseñados para transportar cargas que son muy específicas para cada país) como por las limitaciones de pesos y dimensiones que imponen los diferentes Estados.

Para obtener la composición detallada del tráfico (silueta), se ha contado con un equipo de pesaje dinámico de tipo capacitivo, que ha sido descrito en el apartado 4.2.4, y que es el mismo con el que se realizó la campaña de pesajes dinámicos en la Red de Carreteras del Estado entre 2000 y 2003. Al igual que otros equipos de pesaje dinámico, éste lleva incorporado un programa para obtener una composición detallada del tráfico, que es la del esquema "F" de la FHWA. No obstante, como los tipos de vehículos existentes en España difieren apreciablemente de los del esquema "F" de la FHWA, en ningún momento de su vida operativa se planteó el realizar la adaptación de los parámetros de clasificación a los de los vehículos pesados presentes en las carreteras españolas.

Por tanto, como el objetivo de este trabajo es implantar un procedimiento de clasificación adaptado a las condiciones de los vehículos de nuestro país (y de Europa, en general), y por otro lado, como se pretende desarrollar es una clasificación que no esté basada en el número de ejes apoyados en el pavimento como principal parámetro de diferenciación, sino que con vistas a la determinación de la carga transportada interesa conocer cuál es el verdadero tipo de vehículo más probable en cada caso (aunque circule con ejes elevados del pavimento), se ha optado por desarrollar un procedimiento totalmente nuevo de clasificación en lugar de adaptar uno existente.

A continuación, se va a entrar en el procedimiento experimental que se ha seguido para establecer un nuevo sistema de clasificación detallada de vehículos aplicado a las carreteras españolas. Para ello, se empieza explicando la metodología específica de toma de datos y análisis de estos que se ha llevado a cabo. Seguidamente se muestra el esquema de clasificación que se pretende desarrollar, exponiendo el procedimiento para realizar la clasificación de los vehículos según este esquema y se muestra en detalle las reglas, condiciones y umbrales de diferenciación/clasificación de los vehículos a los que se ha llegado.

Por último, se analizará en detalle el procedimiento que se ha seguido para tratar de distinguir entre los vehículos de algunas de las clases cuya diferenciación plantea más problemas, debido a la similitud en ambas clases de los valores de los parámetros utilizados en la clasificación, como ocurre, por ejemplo, en la diferenciación entre los camiones de 2 ejes y los autobuses del mismo número de ejes.

5.1.2 Procedimiento experimental específico utilizado para obtener la silueta del tráfico

Teniendo en cuenta, por un lado, las anteriores premisas y, por otro, el procedimiento general utilizado en otros países para obtener una silueta del tráfico que se ha comentado, se ha seguido el siguiente proceso experimental para obtener la silueta del tráfico vehicular de las carreteras españolas:

1. Considerar como datos de partida los de los pesajes obtenidos en la campaña 2000-2003, que como se ha dicho incluyen, además de los pesos, el número de ejes, las distancias entre ejes y la longitud de cada vehículo registrado en la campaña. Hay que señalar que es necesario considerar esta muestra de datos, a pesar de su antigüedad, porque para obtener información sobre las características de los vehículos menos frecuentes que permitan realizar la clasificación se requiere una muestra de un tamaño muy grande, en la cual exista un número apreciable de vehículos de cada clase, incluidas las menos frecuentes, lo que no es posible lograr con un par de tomas de datos reales en la carretera, como las efectuadas para realizar esta Tesis.
2. Realizar una primera toma de datos actuales, para adaptar los límites de diferenciación entre las distintas clases a las condiciones de los vehículos actuales que componen el tráfico. Esta toma de datos se realizó en noviembre de 2014, durante 3 días, en la A-1, pk 41 a la altura de El Molar (Madrid).
3. Analizar los datos obtenidos en El Molar para fijar las condiciones de separación entre clases del sistema de clasificación propuesto. Una vez analizadas estas condiciones, se incorporan al esquema de clasificación y se comprueba el error que se cometería con este esquema actualizado en la clasificación de los vehículos del tráfico de esta misma estación.
4. Realizar una nueva toma y análisis de datos para comprobar en otro emplazamiento la exactitud del sistema de clasificación que se ha actualizado con las condiciones de El Molar. Esta nueva toma de datos se llevó a cabo en junio de 2015 en la A-2, pk 82, en Trijueque (Guadalajara).

5.1.3. Metodología seguida para obtener la silueta del tráfico

Tal como se ha comentado, al comienzo de la realización de este estudio se partía de los datos recogidos, tanto visualmente mediante operarios como automáticamente

por el equipo de pesaje en movimiento en las 70 estaciones de la campaña de pesaje dinámico en la Red de Carreteras del Estado llevada a cabo entre 2000 y 2003.

Los datos tomados en la citada campaña incluían, por un lado, todas las típicas características recogidas automáticamente por el equipo de pesaje (longitud, número de ejes, distancia entre ejes, peso de cada uno de los ejes y peso total del vehículo). Pero lo importante de dicha campaña es que, simultáneamente a la toma de datos del equipo, se realizaba una toma de datos visual que permitía obtener otros datos (entre ellos la clasificación correcta de cada vehículo), que no podían ser captados de forma automática, pero que servían para afinar y/o comprobar la clasificación automática. Entre estos datos se encontraban los siguientes:

- la presencia de ejes levantados en un vehículo,
- el tipo y clase verdadero de cada vehículo,
- si los ejes llevaban ruedas sencillas o gemelas,
- la matrícula.

Teniendo en cuenta todos los datos tomados tanto automática como visualmente y considerando como parámetros de clasificación primarios el número de ejes del vehículo, su longitud, y la distancia entre cada dos ejes; y como parámetros de clasificación secundarios, su peso total y el peso de cada eje, se desarrolló un primer sistema de clasificación que, al estar basado en los datos tomados entre 2000 y 2003, se refería naturalmente al tráfico de esa época.

En este primer procedimiento, para realizar la clasificación se atendió, por el orden que figura a continuación, a los siguientes parámetros:

1. Para diferenciar entre vehículos ligeros y pesados, se escogió como principal parámetro de diferenciación, la longitud de los vehículos, a pesar de que hacerlo basándose en el peso de los vehículos hubiera sido más exacto, para obtener una clasificación similar a la del Plan de Aforos de la Dirección General de carreteras del Ministerio de Fomento.
2. Para diferenciar entre las clases de vehículos pesados (rígidos, articulados o trenes de carretera), se utilizó preferentemente la longitud total de los vehículos.
3. Dentro de cada una de estas tres grandes clases, para distinguir entre unos tipos y otros se consideró:
 - Primeramente, el número de ejes registrados por el sistema de pesaje de cada vehículo.
 - En segundo lugar, las distancias entre ejes individuales, para determinar su configuración en ejes múltiples o grupos de ejes (simples, tándem, tridem).

Estos fueron los parámetros de clasificación utilizados para diferenciar a los vehículos en una “primera vuelta” o “ronda”. Como tras realizar esta primera ronda, todavía existían problemas de diferenciación entre algunos tipos determinados, para realizar la clasificación total se realizó una segunda ronda atendiendo a los siguientes parámetros adicionales:

4. Las distancias entre ejes que no formaban parte del mismo eje múltiple (es decir, por ejemplo, la distancia entre el primer eje (el direccional), que suele ser simple, y el eje motriz, que puede ser simple o tándem), el peso total del vehículo y, por último, el peso de alguno de los ejes.

En el apartado 5.1.6 se explican más detenidamente los valores concretos que se fijaron en los parámetros para diferenciar entre las clases de vehículos.

Para realizar la adaptación/actualización de la anterior clasificación así formada a las condiciones del tráfico actual, se decidió realizar una toma de datos en una estación con gran tráfico pesado, como es la situada en la A-1, pk 41 en El Molar. Una vez ejecutada la toma de datos a finales de noviembre de 2014, se analizó en gabinete la información obtenida, con vistas a actualizar los parámetros y umbrales de diferenciación de las distintas clases y tipos de vehículos.

Así, con los datos recogidos en El Molar se obtuvieron para cada una de los diferentes tipos de vehículos, unos valores máximos, mínimos y medios de los diferentes parámetros de clasificación (longitud, peso y separación entre ejes contiguos). Estos valores obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 11.

Teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de los parámetros obtenidos para cada tipo de vehículo en El Molar, se modificó de acuerdo con ellos el esquema de clasificación antiguo desarrollado con los datos de la campaña 2000-2003, obteniéndose un nuevo esquema de clasificación, que puede considerarse definitivo y cuyas condiciones generales se expresan en las Tablas 13 (I, II, III, IV, V y VI) del apartado 5.1.4.

Como entre ciertas clases de vehículos muy parecidas entre sí existían algunos solapes en los parámetros de clasificación, que dificultaban la distinción entre los vehículos de una u otra clase, fue preciso llevar a cabo un estudio más detallado, que se muestra al final de este capítulo en el apartado 5.1.6.

Tabla 11. Valores de los diferentes parámetros medidos en El Molar para cada tipo de vehículos

Valores máximo, mínimo y medio de la longitud, peso total y distancias entre ejes de los vehículos pesados de la muestra según su tipo																									
MUESTRA de El Molar					Longitud (m)			Peso (t)			Distancia entre ejes (m)														
Silueta obtenida con las condiciones EL MOLAR con ajuste julio 2015											Ejes 1-2			Ejes 2-3			Ejes 3-4			Ejes 4-5			Ejes 5-6		
TIPO	SILUETA	Descripción	Número de Vehículos	(%)	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media	Máx.	Min.	Media
1		Vehículos ligeros (Peso en báscula<=3,5 t)																							
Vehículos pesados (Peso en báscula>3,5 t) PMA>3,5 t	2		Rígidos 2 ejes	248	19,5	11,8	6,1	8,3	26,8	3,9	13,5	5,8	3,0	4,6											
	3		Rígidos 3 ejes	74	5,8	12,2	7,4	9,7	29,9	10,3	20,4	6,3	3,3	4,9	1,4	1,3	1,3								
	4		Rígidos 3 ejes	0	0,0																				
	5		Rígidos 4 ejes	8	0,6	11,0	9,0	9,9	39,3	26,3	34,2	2,0	1,6	1,8	4,4	2,9	3,4	1,5	1,3	1,3					
	6		Articulados 3 ejes	1	0,1	13,3	13,3	13,3	22,8	22,8	22,8	3,9	3,9	3,9	6,3	6,3	6,3								
	7		Articulados 4 ejes	23	1,8	20,2	10,1	16,6	41,4	19,3	31,4	4,0	3,5	3,7	9,3	3,4	7,8	1,5	1,2	1,3					
	8		Articulados 5 ejes	800	62,8	19,2	10,9	16,2	49,6	10,5	32,3	4,3	3,4	3,7	9,3	2,6	5,9	1,5	1,1	1,3	1,7	1,1	1,3		
	9		Articulados 5 ejes	0	0,0																				
	10		Articulados 6 ejes	0	0,0																				
	11		123-124-127	34	2,7	21,1	15,1	18,2	33,7	13,7	23,7	5,9	4,1	4,9	8,9	6,6	7,5	1,7	1,0	1,4					
	12		1222	0	0,0																				
	13		125-126-128	6	0,5	20,6	17,3	19,1	43,1	18,9	28,9	5,7	4,4	5,1	7,8	6,2	6,8	1,5	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3		
	14		1224-1227	0	0,0																				
	15		1422-1722	5	0,4	19,8	15,9	17,8	45,0	22,9	33,9	5,1	4,4	4,7	1,4	1,3	1,3	6,8	4,2	4,9	5,4	3,4	4,3		
	16		144-174	11	0,9	20,4	17,2	18,7	38,3	21,2	30,7	6,4	4,6	5,2	1,5	1,3	1,4	7,0	6,2	6,6	1,8	1,3	1,5		
	17		145-146-148	3	0,2	20,2	16,8	19,0	42,2	35,3	39,4	5,5	3,5	4,4	1,4	1,3	1,4	8,4	5,5	6,6	1,7	1,3	1,5	1,8	
	18		1424-1724	0	0,0																				
	19		Bus de 2 ejes	31	2,4	12,9	11,1	11,8	19,6	9,8	15,5	7,2	5,9	6,5											
	20		Bus de 3 ejes	29	2,3	15,1	12,5	14,0	24,6	13,8	20,4	7,8	6,5	7,1	1,7	1,3	1,5								
	Total de vehículos pesados (Peso báscula>3,5 t)			1273	100,0																				

5.1.4 Esquema de clasificación automática propuesto

Teniendo en cuenta, por un lado, los esquemas de clasificación más utilizados en el ámbito internacional, así como los esquemas utilizados en los últimos años en España y, por otro lado, los datos que es posible obtener con los sistemas de pesaje en movimiento respecto de cada vehículo, se va proponer el sistema de clasificación automática que se especifica a continuación.

Como se ha comentado anteriormente, cuando se realiza una toma de datos de pesaje en un punto determinado de una carretera, de una duración dada, se obtiene un listado en ASCII con los datos registrados por el equipo, que se puede transformar en un archivo Excel, lo que permite su tratamiento. El paso siguiente consiste en programar en Excel las reglas que se deducen de las condiciones para cada clase de vehículos (en cuanto a longitud, número de ejes, distancias entre estos, peso total, etc), que aplicadas al listado de datos de los vehículos recogidos por el equipo, permitirán obtener la clase o tipo en el que queda encuadrado cada uno de ellos.

Llevando a cabo el procedimiento anteriormente expuesto, se ha intentado implantar y programar un esquema de clasificación de los vehículos del tráfico que contiene los siguientes tipos:

Vehículos ligeros:

- Turismos
- Derivados de turismo
- Coches con caravana
- Furgones ligeros

Vehículos pesados

- 1- Camiones rígidos de 2 ejes (R 12)
- 2- Camiones rígidos de tres ejes (con un eje tándem motriz trasero) (R 14 y R 17)
- 3- Camiones rígidos de tres ejes (con un eje tándem direccional delantero) (R 32)
- 4- Camiones rígidos de 4 ejes (R 34)

- 5- Vehículo articulado de 3 ejes (con 2 ejes en la cabeza tractora y 1 eje en el semirremolque) (S 122)
- 6- Vehículo articulado de 4 ejes (con 2 ejes en la cabeza tractora y 2 ejes en el semirremolque) (S 123 y S 124)
- 7- Vehículo articulado de 5 ejes (con 2 ejes en la cabeza tractora y 3 ejes en el semirremolque) (S 125, S 126 y S 128)
- 8- Vehículo articulado de 5 ejes (con 3 ejes en la cabeza tractora y 2 ejes en el semirremolque) (S 144)
- 9- Vehículo articulado de 6 ejes (con 3 ejes en la cabeza tractora y 3 ejes en el semirremolque) (S 145 y S 146)

- 10- Tren de carretera de 4 ejes (con 2 ejes en el camión tractor y 2 ejes, que forman un eje tándem, en el remolque) (T 124)
- 11- Tren de carretera de 4 ejes (con 2 ejes en el camión tractor y 2 ejes simples en el remolque) (T 1222)
- 12- Tren de carretera de 5 ejes (con 2 ejes en el camión tractor y 3 ejes, que forman un eje trídem, en el remolque)(T 125 y T 126)
- 13- Tren de carretera de 5 ejes (con 2 ejes en el camión tractor y 3 ejes, uno simple y los otros dos formando un eje tándem, en el remolque) (T 1224)
- 14- Tren de carretera de 5 ejes (con 3 ejes en el camión tractor y 2 ejes simples en el remolque) (T 11422)
- 15- Tren de carretera de 5 ejes (con 3 ejes en el camión tractor y 2 ejes, que forman un eje tándem, en el remolque) (T 144)
- 16- Tren de carretera de 6 ejes (con 3 ejes en el camión tractor y 3 ejes, que forman un eje trídem, en el remolque) (T 145)
- 17- Tren de carretera de 6 ejes (con 3 ejes en el camión tractor y 3 ejes, uno de ellos simple y los otros dos formando un eje tándem, en el remolque) (T 1424)
- 18- Autobuses de 2 ejes (A 12)
- 19- Autobuses de 3 ejes (A 17).

Hay que señalar que, en el momento de emprenderse el estudio, se pretendía dividir los vehículos ligeros enumerados por tipos (ligeros, derivados de turismo, coches con caravana, furgones ligeros), pero tras examinar las características de estos vehículos se vio que iba a ser prácticamente imposible diferenciarlos entre sí, pues existe un solapamiento casi total entre las características de los turismos con las de los derivados de turismo, así como entre algunos turismos grandes con los furgones ligeros, por lo que se desechó la idea de realizar esta diferenciación.

Por otro lado, el objetivo de esta clasificación es obtener la composición del tráfico pesado para estimar las cargas transportadas, por lo que tiene más importancia centrarse en diferenciar los distintos tipos de vehículos pesados que transportan cargas de una cierta magnitud, siendo menos prioritario distinguir los diferentes tipos de vehículos que constituyen el tráfico ligero. No obstante, antes de la tabla de clasificación de vehículos pesados, se va a proporcionar una tabla de diferenciación de vehículos ligeros, pero se resalta que la exactitud de clasificación conseguida es mucho menor que la obtenida con los vehículos pesados.

En sentido contrario a lo que se acaba de decir para los vehículos ligeros, es importante poner de manifiesto que en cuanto a los trenes de carretera, podrían haberse programado fácilmente las condiciones para un mayor número de tipos, pero se ha escogido programar solamente los de los tipos que aparecen con una cierta frecuencia.

A continuación, en la Tabla 12 se expresan las condiciones de clasificación a las que se ha llegado para los vehículos ligeros y en las Tablas 13 (I, II, III, IV, V, VI) figuran las condiciones de clasificación para los vehículos pesados, que debido a que la influencia de este tráfico sobre la vida útil de los firmes viarios es más grande y a su relación

directa con las actividades económicas de transporte, será la que se explique más en detalle.

Tabla 12 - Condiciones de clasificación de los vehículos ligeros

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
1	Vehículo ligero	Longitud ≤ 6 m
2	Vehículo pesado	Longitud > 6 m
3	Derivado de turismo	Peso primer eje $\leq 1,2$ t Peso segundo eje $\leq 1,2$ t Peso total vehículo $\leq 2,1$ t Distancia entre ejes ≤ 3 m Longitud ≤ 5 m
4	Caravanas (coche + caravana)	Peso total $\leq 3,5$ t Longitud > 6 m Distancia entre 2º y 3º eje > 0 m (o sea, existe un 3º eje) Distancia 4º y 5º eje ≤ 0 m (o sea, no existe 5º eje)
5	Furgones ligeros	$3,5$ m $<$ Longitud < 7 m Distancia entre 1º y 2º ejes $> 2,5$ m Distancia entre 2º y 3º eje ≤ 0 m (o sea, no existe un 3º eje) Peso total $\leq 3,5$ t
6	Furgones pesados	Longitud > 6 m Peso total $> 3,5$ t Distancia 2º y 3º eje ≤ 0 m (o sea, no existe un 3º eje)

Como se puede ver en la Tabla 12, tal como se ha dicho, se ha considerado primeramente la división tradicional entre vehículos ligeros y pesados, clasificados solamente por la longitud, para poder comparar los resultados con los de la Dirección General de Carreteras en su Plan de Aforos.

A continuación, se han añadido otras cuatro clases: los vehículos derivados de turismo, que suelen estar dedicados al transporte, los turismos con caravana (de 1 ó 2 ejes) y los furgones ligeros ($MMA \leq 3,5$ t) y pesados ($MMA > 3,5$ t). No obstante, dada la dificultad de poder diferenciar adecuadamente este tipo de vehículos, pues sus características son muy similares a la de muchos camiones pesados de 2 ejes, se decidió no tenerlos en cuenta separadamente, en el esquema global de clasificación que se ha desarrollado.

Tabla 13 (I)- Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
1	Vehículo ligero	<u>Condición:</u> Longitud ≤ 6 m
2	Camión rígido de 2 ejes (tipo R 12)	<u>Condiciones generales</u> 5,8 m < Longitud ≤ 12 m 3,5 t < Peso total ≤ 10 t Distancia entre 1º y 2º ejes $\leq 5,8$ m Distancia entre 2º y 3º eje = 0 m (o sea, no existe un 3º eje) <u>Condiciones especiales 1 para distinguirlos de camiones de 3 ejes con un eje levantado:</u> 5,8 m < Longitud $\leq 9,3$ m 10 t < Peso total ≤ 14 t Distancia entre 1º y 2º ejes $\leq 5,8$ m Distancia entre 2º y 3º eje = 0 m (o sea, no existe 3º eje) <u>Condiciones especiales 2 para distinguirlos de camiones de 3 ejes con un eje levantado:</u> 5,8 m < Longitud ≤ 12 m Peso total > 14 t Distancia entre 1º y 2º ejes $\leq 5,8$ m Distancia entre 2º y 3º eje = 0 m (o sea, no existe 3º eje) <u>Condiciones especiales para vehículos de 2 ejes que no cumplen alguna condición de los grupos anteriores</u> Longitud > 6 m Peso total > 3,5 t Peso 2º eje > 0 (o sea, existe un 2º eje) Peso 3º eje = 0 (o sea, no existe un tercer eje)
3	Camión rígido de 3 ejes (con tándem trasero) (Tipos R14 y R17)	<u>Condiciones generales</u> 6 m < Longitud < 12,4 m Peso total > 3,5 t Distancia entre 1º y 2º ejes $\leq 6,8$ m Distancia entre 2º y 3º eje $\leq 1,8$ m (o sea, forman tándem) Distancia entre 3º y 4º eje = 0 m (o sea, no existe 4º eje) <u>Condiciones especiales de los camiones de 3 ejes con un eje levantado para distinguirlos de los camiones de 2 ejes</u> 9,3 m < Longitud ≤ 12 m 10 t < Peso total ≤ 14 t Distancia entre 1º y 2º ejes $\leq 5,8$ m Distancia entre 2º y 3º eje = 0 m (o sea, no existe 3º eje) <u>Condiciones especiales para vehículos de 3 ejes que no cumplen alguna condición de los grupos anteriores</u> Longitud > 6 m Peso total > 3,5 t Peso 3º eje > 0 (o sea, existe un 3º eje) Peso 4º eje = 0 (o sea, no existe un cuarto eje)

Tabla 13 (II) - Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
4	Camión rígido de 4 ejes (R34 - R37)	<p><u>Condiciones generales</u></p> <p>Longitud > 6 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 2 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 3º y 4º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje ≤ 0 m (o sea, no existe 5º eje)</p> <p><u>Condiciones especiales de los camiones de 4 ejes con un eje levantado para distinguirlos de los camiones de 3 ejes</u></p> <p>Longitud > 6 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje = 0 m (o sea, no existe 4º eje)</p>
4	Vehículo articulado, tipo tractor + semirremolque, de 3 ejes (S 122)	<p>Longitud > 6 m</p> <p>Peso total > 21,7 t</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4,3 m</p> <p>Distancia 2º y 3º ejes > 3,5 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje = 0 m (o sea, no existe 4º eje)</p>
5	Vehículo articulado, tipo tractor + semirremolque, de 4 ejes (S 123 -S 124)	<p><u>Condiciones generales</u></p> <p>Longitud > 8 m</p> <p>Peso total > 28 t</p> <p>Peso 4º eje > 0 t</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4 m</p> <p>Distancia 2º y 3º ejes ≥ 2,5 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje = 0 m (o sea, no existe 5º eje)</p> <p><u>Condiciones especiales de los articulados de 4 ejes con un eje levantado para distinguirlos de articulados de 3 ejes</u></p> <p>Longitud > 6 m</p> <p>3,5 < Peso total ≤ 21,7 t</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4,3 m</p> <p>Distancia 2º y 3º ejes > 3,5 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º ejes = 0 (o sea, no existe 4º eje)</p>

Tabla 13 (III) - Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denminación	Condiciones de clasificación
6	Vehículo articulado, tipo tractor + semirremolque, de 5 ejes (S 125 – S 126 – S 128)	<p><u>Condiciones generales</u></p> <p>Longitud > 6 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4,3 m</p> <p>Distancia 2º y 3º ejes ≤ 9 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º ejes ≤ 1,8 m y distancia entre 4º y 5º ejes ≤ 1,8 m (es decir, que forman un eje trídem)</p> <p><u>Condiciones especiales de los articulados de 5 ejes con un eje levantado para distinguirlos de los articulados de 4 ejes</u></p> <p>Longitud > 8 m</p> <p>7 < Peso total ≤ 28 t</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4 m</p> <p>Distancia 2º y 3º ejes ≥ 3 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º ejes = 0 (o sea, no existe 5º eje)</p> <p>Peso 4º eje > 0 t (es decir, existe 4º eje)</p> <p><u>Condiciones especiales para vehículos de 5 ejes que no cumplen alguna condición de los grupos anteriores</u></p> <p>Longitud > 6 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 5º eje > 0 (es decir, que existe un 5º eje)</p> <p>Peso 6º eje = 0 (o sea, que no existe un sexto eje)</p>
7	Vehículo articulado, tipo tractor + semirremolque, de 5 ejes, siendo el tractor de 3 ejes (S 144)	<p>6 m < Longitud ≤ 16,5 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 5º eje > 0 t (o sea, existe un 5º eje)</p> <p>Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe 6º eje)</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4,3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p>
8	Vehículo articulado, tipo tractor + semirremolque, de 6 ejes (S 145 – S 146)	<p>6 m < Longitud ≤ 16,5 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 6º eje > 0 t (es decir, existe un 6º eje)</p> <p>Peso 7º eje = 0 t (es decir, no existe un 7º eje)</p> <p>2,5 m ≤ Distancia entre 1º y 2º ejes ≤ 4,3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º ejes ≤ 1,8 m (o sea, forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º ejes ≤ 1,8 m y distancia entre 5º y 6º ejes ≤ 1,8 m (o sea, que forman un eje trídem)</p>

Tabla 12 (IV) - Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
9	Tren de carretera de 4 ejes (con tándem en el remolque) (T 124)	<p>Longitud total > 15 m Peso total > 3,5 t Peso 4º eje = 0 t (o sea, existe un 4º eje) Peso 5º eje = 0 t (o sea, no existe un 5º eje) $4\text{ m} \leq \text{Distancia entre } 1^\circ \text{ y } 2^\circ \text{ ejes} \leq 6,2\text{ m}$ Distancia entre 3º y 4º ejes $\leq 1,8\text{ m}$ (o sea, forman tándem)</p> <hr/> <p><u>Condiciones especiales para vehículos de 4 ejes tipo C2+R2 que no cumplen alguna condición de los grupos anteriores</u> Longitud > 6 m Peso total > 3,5 t Peso 4º eje > 0 (es decir, que existe un 4º eje) Peso 5º eje = 0 (o sea, que no existe un quinto eje)</p>
10	Tren de carretera de 4 ejes (con 2 ejes simples en el remolque), (T 1222)	<p>Longitud total > 15 m Peso total > 3,5 t Peso 4º eje > 0 t (o sea, existe un 4º eje) Peso 5º eje = 0 t (o sea, no existe un 5º eje) $3\text{ m} \leq \text{Distancia entre } 1^\circ \text{ y } 2^\circ \text{ ejes} \leq 5,7\text{ m}$ Distancia entre 2º y 3º eje > 1,8 m Distancia entre 3º y 4º eje > 1,8 m (o sea, no forman tándem)</p>
11	Tren de carretera de 5 ejes (con trídem en el remolque) (T 125 ó T 126)	<p>Longitud total > 16,5 m Peso total > 3,5 t Peso 5º eje > 0 t (o sea, existe un 5º eje) Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe un 6º eje) Distancia entre 1º y 2º ejes > 4,3 m Distancia entre 2º y 3º ejes > 1,8 m (o sea, no forman tándem) Distancia entre 3º y 4º eje $\leq 1,8\text{ m}$ y distancia entre 4º y 5º eje $\leq 1,8\text{ m}$ (es decir, forman eje trídem)</p>
12	Tren de carretera de 5 ejes (con tándem en el remolque) (T 1224) (*)	<p>Longitud total > 15 m Peso total > 3,5 t Peso 5º eje > 0 t (o sea, existe un 5º eje) Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe un 6º eje) Distancia entre 1º y 2º ejes > 3 m $1,8\text{ m} < \text{Distancia entre } 2^\circ \text{ y } 3^\circ \text{ ejes} \leq 5,8\text{ m}$ (o sea, no forman tándem) Distancia entre 3º y 4º eje > 1,8 m (no forman tándem) Distancia entre 4º y 5º eje $\leq 1,8\text{ m}$ (es decir, forman eje tandem).</p>

Tabla 12 (V) - Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
13	Tren de carretera de 5 ejes (con tándem en el camión tractor) (T 1422)	<p><u>Condiciones generales 1</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe un 6º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes > 3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º ejes ≤ 1,8 m (forman tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje > 1,8 m (es decir, que no forman eje tándem).</p> <p><u>Condiciones especiales para cuando el camión tractor circule con un eje levantado</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 4º eje > 0 t (o sea, existe un 4º eje)</p> <p>Peso 5º eje = 0 t (o sea, no existe el 5º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes > 1,8 m (no forman tándem)</p> <p>Distancia entre 2º y 3º ejes > 6,1 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje > 1,8 m (es decir, que no forman eje tándem).</p>
14	Tren de carretera de 5 ejes (con tándem en el tractor y tándem en el remolque) (T 144)	<p><u>Condiciones generales 1</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso en el 4º eje > 0 (o sea, existe un 4º eje)</p> <p>Peso en el 5º eje > 0 (o sea, existe un 5º eje)</p> <p>Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe un 6º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º eje > 4,3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem).</p> <p><u>Condiciones especiales para cuando el camión tractor circule con un eje levantado</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 4º eje > 0 t (o sea, existe un 4º eje)</p> <p>Peso 5º eje = 0 t (o sea, no existe el 5º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes > 6,2 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje ≤ 1,8 m (es decir, que forman eje tándem).</p>
15	Tren de carretera de 6 ejes (con tándem en el tractor y un eje trídem en el remolque) (T 145)	<p>Longitud total > 16,5 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso en el 6º eje > 0 (o sea, existe un 6º eje)</p> <p>Peso en el 7º eje = 0 (o sea, no existe un 7º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º eje > 3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje ≤ 1,8 m y distancia entre 5º y 6º ejes ≤ 1,8 m (forman eje trídem).</p>

Tabla 12 (VI) - Condiciones de clasificación de los vehículos pesados

Tipo	Denominación	Condiciones de clasificación
16	Tren de carretera de 6 ejes (con tándem en el tractor y tres ejes en el remolque, con los dos últimos formando un eje tándem) (T 1424)	<p><u>Condiciones generales 1</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso en el 6º eje > 0 (o sea, existe un 6º eje)</p> <p>Peso en el 7º eje = 0 t (o sea, no existe un 7º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º eje > 3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje > 1,8 m (no forman tándem).</p> <p>Distancia entre 5º y 6º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p> <p><u>Condiciones especiales para cuando el camión tractor circule con el último eje (el 3º) levantado</u></p> <p>Longitud total > 15 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Peso 5º eje > 0 t (o sea, existe un 5º eje)</p> <p>Peso 6º eje = 0 t (o sea, no existe un 6º eje)</p> <p>Distancia entre 1º y 2º ejes > 3 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º ejes > 5,8 m</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje > 1,8 m (es decir, que no forman eje tándem).</p> <p>Distancia entre 4º y 5º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p>
17	Autobús de 2 ejes (A 12)	<p>11 m ≤ Longitud total ≤ 13 m</p> <p>Peso total > 8 t</p> <p>Peso en el 1º eje > 3 t</p> <p>Peso en el 2º eje ≥ 6 t</p> <p>Distancia entre 1º y 2º eje > 5,8 m</p> <p>Distancia entre 2º y 3º = 0 m (o sea, no existe el 3º eje)</p>
18	Autobús de 3 ejes (A 17)	<p>Longitud total ≥ 12,4 m</p> <p>Peso total > 3,5 t</p> <p>Distancia entre 2º y 3º eje ≤ 1,8 m (forman eje tándem)</p> <p>Distancia entre 3º y 4º eje = 0 (o sea, no existe el 3º eje)</p>

Las condiciones del procedimiento de clasificación que se acaban de mostrar en las distintas partes de la Tabla 13 se expresan de manera resumida (para los vehículos pesados solamente), en formato lógico, en la Tabla 14 que se muestra a continuación.

Tabla 14. Resumen de las condiciones de clasificación para los diferentes tipos de vehículos expresadas en formato lógico

CRITERIOS EL MOLAR DE CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS PARA LA POBLACIÓN (Usando la muestra de EL MOLAR 2014)																									
		Columna de Excel																							
Vehículos		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
Clase	Tipo	No	Date	Time	Line	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	AW7	AW8	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	SPD	LENG		
RÍGIDOS	R 12					>0								3,5<P<=10	0<D<=5,8	=0							5,8<L<=12		
						>0								>14	0<D<=5,8	=0							5,8<L<=12		
						>0								10<P<=14	0<D<=5,8	=0							5,8<L<=9,3		
	R 14-17					>0	=0							>3,5									>6		
														>3,5	0<D<=6,8	0<D<=1,8	=0						6<L<12,4		
														10<P<=14	0<D<=5,8	=0							9,3<L<=12		
R 32							>0	=0					>3,5									>6			
R 34-37														>3,5	0<D<=2		0<D<=1,8	=0					>6		
SEM-REMOQUES	S 122													>21,7	2,5<=D<4,3	>3,5	=0						>6		
	S 123-124								>0					>28	2,5<=D<=4	>=2,5	0<D<=1,8	=0					>8		
	S 125-126-128													3,5<P<=21,7	2,5<=D<=4,3	>3,5	=0						>6		
														>3,5	2,5<=D<=4,3	<=9	0<D<=1,8	0<D<=1,8					>6		
										>0				7<P<=28	2,5<=D<=4	>=3	0<D<=1,8	=0					>8		
	S 144									>0	=0			>3,5	2,5<=D<=4,3	0<D<=1,8		0<D<=1,8					6<L<=16,5		
S 145-146										>0	=0		>3,5	2,5<=D<=4,3	0<D<=1,8		0<D<=1,8					6<L<=16,5			
TRENES	T 124								>0	=0				>3,5	4<D<=6,2		0<D<=1,8						>15		
									>0	=0				>3,5									>6		
	T 1222								>0	=0				>3,5	3<D<=5,7	1,8<D<=6,1	>1,8						>15		
	T 125-126									>0	=0			>3,5	>4,3	>1,8	0<D<=1,8	0<D<=1,8					>16,5		
	T 1224									>0	=0			>3,5	>3	1,8<D<=5,8	>1,8	0<D<=1,8					>15		
	T 1422										=0			>3,5	>3	0<D<=1,8		>1,8					>15		
								>0	=0					>3,5	>1,8	>6,1	>1,8					>15			
	T 144							>0	>0	=0				>3,5	>4,3	0<D<=1,8		0<D<=1,8					>15		
T 145								>0	=0				>3,5	>6,2		0<D<=1,8		0<D<=1,8				>15			
T 1424									>0	=0			>3,5	>3	0<D<=1,8		>1,8	0<D<=1,8				>15			
BUSES	A 12					>3	>=6							>8	>5,8	=0							11<L<=13		
	A 17													>3,5		0<D<=1,8	=0						>=12,4		
		Peso en toneladas (t)					Distancia entre ejes y longitud en metros (m)								P	Peso	D					Distancia entre ejes	L		Longitud
Texto en rojo: Diferencias con los criterios INTERMEDIOS (8 diferencias)																									
Fondo en rojo: Criterios empleados para reclasificar, en segunda vuelta, los vehículos NO CLASIFICADOS en la primera																									

Se ha elaborado un programa de clasificación en Excel que, tomando como parámetros de entrada directamente las salidas de datos del equipo de pesaje dinámico, proporciona la clasificación de los vehículos en las 18 clases o tipos descritos. En este programa, se parte las distintas características de los vehículos (pesos de cada eje, peso bruto del vehículo, longitud, distancia entre ejes consecutivos), que aparecen cada una de ellas en una columna en la hoja Excel, y se imponen las condiciones entre los distintos parámetros que se muestran en la Tabla anterior.

5.1.5 Explicación de las condiciones de clasificación que se han desarrollado

En este apartado se va a tratar de explicar las razones por las que se han escogido las condiciones y umbrales de clasificación que se han mostrado detalladamente en las Tablas 12, 13 (I, II, III, IV, V y VI) y 14.

En primer lugar, hay que decir que para distinguir los vehículos pesados de los vehículos ligeros se suelen imponer dos condiciones: que su longitud sea mayor de unos 6 m y que su peso dado por la báscula dinámica sea mayor de 3,5 t.

Para distinguir dentro de estas dos grandes clases a cada tipo específico de vehículo se recurre primeramente a imponer ciertas condiciones sobre el número de ejes. Así, las caravanas (ligeras) son vehículos ligeros con más de 2 ejes (3 o 4), mientras que los distintos tipos de camiones, sean rígidos, articulados o trenes, tienen también un número específico de ejes, imponiéndose esa condición de la siguiente forma: si un tipo específico de vehículo tiene n ejes, entonces se impone como condición que el peso del eje $n+1$ debe ser 0, o alternatively que la distancia entre el eje n y el eje $n+1$ debe ser igualmente 0.

La distinción entre vehículos rígidos, articulados (semirremolques) y trenes de carretera se basa fundamentalmente (aunque no solo) en la longitud de los vehículos, imponiéndose, de acuerdo con el Reglamento General de Vehículos, la condición de que esta longitud sea menor o igual de 12 m para los vehículos rígidos, entre 12 m y 16,5 m para los vehículos articulados (conjunto de cabeza tractora + semirremolque) y mayor de 16,5 m para los trenes de carretera. No obstante, en algunos tipos de vehículo determinados se han modificado ligeramente esos umbrales de distinción para tener en cuenta posibles imprecisiones del sistema de pesaje.

Como puede existir un cierto solape en la longitud y número de ejes entre ciertos tipos de vehículos articulados (cabeza tractora + semirremolque) y de trenes de carretera (camión rígido + remolque), para distinguir ambos tipos de vehículos se suele imponer como condición adicional que en los articulados la distancia entre el primer y el segundo eje es menor de unos 4 m, mientras que en los trenes de carretera esta distancia es algo mayor, debido a que las cabezas tractoras de los vehículos articulados son bastante más cortas que los camiones de dos ejes que tiran de un remolque.

En cuanto a la tipología de los ejes, se ha impuesto como condición de que dos ejes consecutivos formen un eje tándem si su distancia es menor o igual de 1,8 m, mientras que para que tres ejes consecutivos formen un eje trídem, se impone la condición de

que tanto la distancia entre el primero con el segundo como la distancia entre el segundo con el tercero deben ser menores o iguales a 1,8 m.

Para tratar de clasificar adecuadamente los vehículos que llevan algún eje levantado (esto es, según su número verdadero de ejes, no según el número de ellos que llevan apoyados sobre el pavimento), se ha recurrido al artificio de considerar (en algunos casos) que un cierto vehículo captado por el sistema como de n ejes puede ser clasificado como un vehículo de $n+1$ ejes si su peso es menor de un cierto umbral (es decir, si va descargado). Así, por ejemplo el vehículo más común, que es el articulado de 5 ejes con un eje trídém en el semirremolque, puede llevar un eje del semirremolque levantado y es captado por el sistema de pesaje como un vehículo de 4 ejes solamente. Sin embargo, este vehículo será clasificado como vehículo de 5 ejes (aunque el sistema sólo registre 4) si su peso total es menor de 28 t. Está claro que con ello se puede cometer el error de clasificar como vehículo articulado de 5 ejes a un vehículo articulado de 4 ejes que circule descargado, pero se optó por hacerlo de esta manera debido a que actualmente existen muy pocos vehículos de 4 ejes, y el error que se cometería en estos casos es muy pequeño.

Se hace notar que, además de las mencionadas, existen otras condiciones más específicas adaptadas a cada tipo de vehículo, que sería muy prolijo enumerar, por lo que se ha creído conveniente sólo explicar las condiciones que aparecen más frecuentemente.

Por último, cabe preguntarse cuál serían las condiciones de clasificación del nuevo tipo de vehículo aprobado por la Orden PRE/2788/2015, de 18 de diciembre, por el que se modificaba el anexo IX del Reglamento General de Vehículos, en el sentido de incorporar el llamado coloquialmente “**megatruck**”, que se designa en el apartado 1 de dicha Orden como:

*“1.23 **Configuración euro-modular:** Conjunto de vehículos con más de 6 líneas de ejes, cuyos módulos separadamente no superan los límites máximos de masas y dimensiones establecidos para el tipo de vehículo que corresponda”*

Se incorpora además el apartado 6 “Masa máxima autorizada de los conjuntos de vehículos en configuración euro-modular”,

“Se podrá autorizar por el órgano competente en materia de tráfico, previo informe vinculante del titular de la vía, la circulación de conjuntos de vehículos en configuración euro-modular, con una masa máxima de hasta 6^ª toneladas y una longitud máxima de hasta 25,25 metros por un plazo determinado, en las condiciones que se fijen en la autorización. La carga no podrá sobresalir de la proyección en planta del vehículo. Siempre que sea posible, los itinerarios de estos transportes deberán transcurrir por autopistas y autovías.

No se podrá conceder la autorización a la que se refiere el párrafo anterior cuando se pretenda realizar transporte de mercancías peligrosas por carretera”

Pues bien, a la vista de las disposiciones sobre masas y dimensiones de los vehículos en configuración euro-modular, cabría decir que las condiciones de clasificación automática de esos vehículos podrían ser las siguientes:

5. Longitud total $> 20,25$ m (es decir, una longitud mayor del tren de carretera constituido por un camión rígido+remolque que sea más largo, que es el destinado al transporte de vehículos)
6. Peso total $> 3,5$ t
7. Peso en el 7º eje > 0 (es decir, que existe un 7º eje)

Posiblemente, con estas tres condiciones bastaría para distinguir de forma automática a este tipo de vehículos. No obstante, como posiblemente podrán existir algunos vehículos de configuración euro-modular cortos (longitud $< 20,25$ m) para transportar cargas pesadas, podrían producirse solapes entre con algunos trenes de carretera largos (como los destinados al transporte de vehículos), por lo que es posible que en esos casos se requiriera alguna condición adicional para clasificarlos adecuadamente, como podría ser el imponer una distancia máxima entre primer y segundo ejes (menor de unos 4 m), para indicar que se trata de un vehículo con cabeza tractora, y no un tren de carretera tirado por un camión de dos ejes.

No obstante, según vayan apareciendo los distintos tipos de vehículos de configuración euro-modular, se podrá comprobar si se necesita alguna condición adicional para clasificar adecuadamente estos vehículos, con objeto de diferenciarlos de otros tipos que puedan ser bastante similares.

5.1.6 Análisis detallado de los resultados para los casos de solapamiento entre las características de ciertas clases

A continuación se va a explicar más detalladamente cómo se ha llegado a establecer los umbrales de separación entre algunas clases en las cuales existe cierto solapamiento de las principales condiciones de clasificación, esto es, que para una o varias de las variables que se utilizan para separar las clases en cuestión, existen valores respecto de esa(s) característica(s), que pueden tomar los vehículos de dos o más clases, con lo cual, se debe realizar un estudio más detallado para poder discernir cuál es el tipo de vehículo de que se trata. A este respecto, puede decirse que los principales caso de solapamiento de condiciones (y, por tanto, de mayor dificultad de clasificación) se dan entre los siguientes tipos:

1. Camiones de 2 ejes y autobuses de 2 ejes
2. Camiones de 3 ejes y autobuses de 3 ejes
3. Articulados de 4 con un eje tándem en el semirremolque y trenes de 4 ejes con un eje tándem en el semirremolque
4. Articulados de 4 ejes con un eje tándem en el semirremolque y articulados de 5 ejes con un eje tridem en el semirremolque que circulan con un eje levantado
5. Camiones de 2 ejes y camiones de 3 ejes que circulan con un eje levantado.

Para tratar este problema se ha escogido un planteamiento similar al realizado por Kwigizile, 2004 [27], que consiste en comparar las distribuciones (histogramas) de frecuencias de los valores que toman los vehículos de dos o más clases, respecto de las variables de clasificación entre las que existe solapamiento.

5.1.6.1 Diferenciación entre camiones de 2 ejes y autobuses de 2 ejes

Tanto los camiones de dos ejes como los autobuses de dos ejes son vehículos que no se pueden diferenciar entre sí por su número de ejes ni su peso total, por lo que se debe acudir a otros parámetros en los cuales se puedan observar ciertas diferencias.

En la Figura 14, se representan las frecuencias relativas de los distintos intervalos de longitud tanto de los camiones de 2 ejes como de los autobuses de 2 ejes. Como se puede comprobar, el máximo de la distribución de longitudes de los camiones de 2 ejes está entre 7 y 8 m, existiendo un porcentaje apreciable de ellos que está entre 8 y 10 m, mientras que solo un 15% aproximadamente supera los 10 m de longitud y solo un 4% supera los 11 m, siendo su límite legal de longitud los 12 m. En comparación, la frecuencia máxima de longitud de los autocares tiene lugar entre los 10,5 m y los 11,5 m y aproximadamente un 21% supera los 11,5 m, siendo su límite legal de longitud los 15 m. Como se puede ver, aunque las distribuciones de longitud sean bastante diferentes, existe un cierto solape entre ambos tipos de vehículo entre los 10 y los 11 m.

Figura 14. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las longitudes de los camiones de 2 ejes y de los autobuses de 2 ejes

Si se observa la Figura 15 que representa la distribución de frecuencias de las distancias entre los ejes de los camiones de 2 ejes y de los autobuses de 2 ejes, se puede comprobar que los máximos de la distribución de los camiones tienen lugar

entre los 4 y los 5 m, mientras que las de los autobuses de dos ejes se produce entre los 5,5 m y los 7 m, existiendo un cierto solape en el intervalo de separación entre ejes de 5,5 y 6 m.

Pues bien, teniendo en cuenta todo lo anterior, se decidió imponer como condiciones de separación (distinción) entre ambos tipos de vehículos un valor de la longitud de 11 m y de la separación entre ejes de 5,8 m, de manera que si un vehículo pesado (peso total > 3,5 t) de 2 ejes supera ambos valores, tanto de longitud como de distancia entre ejes, se le considerará como autobús y en caso de no superar alguno (o ninguno de ellos), se le considerará camión rígido de 2 ejes.

Es obvio que al existir un cierto solape entre ambos tipos de vehículos en las dos variables (longitud y separación entre ejes), se dará lugar a un cierto porcentaje de error en la clasificación, pero procediendo de esta forma este error se reducirá al mínimo.

Figura 15. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las separaciones entre los dos ejes de los camiones de 2 ejes y de los autobuses de 2 ejes

5.1.6.2 Diferenciación entre camiones de 3 ejes y autobuses de 3 ejes

Al igual que ocurre en el caso anteriormente expuesto, tanto los camiones de tres ejes como los autobuses de tres ejes son vehículos que no se pueden diferenciar entre sí por su número de ejes ni su peso total, ni siquiera por su tipo de ejes (pues ambos tienen un eje simple delantero y un eje tándem trasero), por lo que para distinguir unos de otros se debe recurrir a otros parámetros en los cuales se puedan observar ciertas diferencias.

Si se representan las frecuencias relativas de los distintos intervalos de longitud tanto de los camiones de 3 ejes como de los autobuses de 3 ejes, se puede comprobar, el máximo de la distribución de longitudes de los camiones de 3 ejes está entre 9 y 11 m, existiendo un porcentaje apreciable de ellos que está entre 11 y 12 m, mientras que solo un 5% aproximadamente supera los 12 m de longitud, que es su límite legal de longitud los 12 m (esto se debe en parte también al error de medición de la longitud por parte del equipo). En comparación, la frecuencia máxima de longitud de los autocares tiene lugar entre los 13 m y los 15 m, que es su límite legal de longitud máxima. Además, en este caso existe un pequeño solape entre ambos tipos de vehículo entre los 12 y los 13 m, intervalo en el que coinciden aproximadamente un 5% de los vehículos de ambos tipos.

Si se observa la Figura 16 que representa la distribución de frecuencias de las distancias entre el primer y segundo ejes de los camiones de 3 ejes y de los autobuses de 3 ejes, se puede comprobar que los máximos de la distribución de los camiones tienen lugar entre los 4 y los 6 m, mientras que las de los autobuses de tres ejes se produce entre los 6 y los 8 m, existiendo un pequeño solape en el intervalo de separación entre ejes de 6 y 7 m.

Figura 16. Comparación de las distribuciones de frecuencia de las separaciones entre el primer y el segundo ejes de los camiones de 3 ejes y de los autobuses de 3 ejes

Pues bien, considerando todo lo anterior, se decidió que bastaba imponer como condiciones de separación entre ambos tipos de vehículos un valor de la longitud de 12,4 m (si se supera este umbral, un vehículo pesado de tres ejes será considerado autobús de tres ejes), teniendo en cuenta que en este caso la separación entre ambas distribuciones de longitud es más clara y que prácticamente ningún camión de 3 ejes supera esta longitud.

5.1.6.3 Diferenciación entre los articulados de 4 ejes y los trenes de carretera de 4 ejes, cuando ambos tienen un eje tándem trasero

En relación con estos dos tipos de vehículos de 4 ejes, compuestos en ambos casos por una unidad tractora de 2 ejes simples y un semirremolque o remolque de 2 ejes que forman un eje tándem, podrían existir dos parámetros de diferenciación: la distancia entre los ejes 1 y 2 de las unidades tractoras, pues las cabezas tractoras que tiran de los semirremolque suelen ser más cortas que las de los camiones de dos ejes que arrastran un remolque, y la longitud total del vehículo, pues el límite de longitud de los articulados es de 16,5 m, mientras que el de los trenes de carretera es de 18,75 m.

A continuación se ha examinado más detenidamente las distribuciones de estos dos parámetros, con objeto de tratar de encontrar diferencias en las que se pueda basar la clasificación de estos dos tipos.

Figura 17. Comparación entre las disitribuciones de las distancias entre el primer y el segundo eje de los articulados de 4 ejes y de los trenes de 4 ejes con tandem trasero.

Como se puede ver en el histograma de frecuencias relativas de las distancias de separación entre ejes de las cabezas tractoras de los articulados y de los camiones de dos ejes (véase la Figura 17), el intervalo de separación entre el primer y segundo eje con frecuencia máxima para las cabezas tractoras está entre los 3,5 y los 4 m, existiendo muy pocas cabezas tractoras que superen los 4,5 m de distancia entre ejes, pero desafortunadamente el intervalo de frecuencia máxima de la separación entre ejes de los camiones de 2 ejes está también entre los 3,5 y los 4 m, aunque su distribución es mucho más tendida, existiendo un porcentaje grande (aproximadamente un 40%) de camiones con una separación entre ejes mayor de 5,5 m.

Por otro lado, se tiene el histograma de la Figura 18, que muestra la distribución de frecuencias de los distintos intervalos de longitud de los articulados de 4 ejes y de los trenes de 4 ejes también, ambos tipos con un eje tándem en su parte trasera. El límite legal de longitud de los articulados es de 16,5 m, mientras que el de los trenes de carretera es de 18,75 m, existiendo entre ellos algunos tipos de vehículos a los que se les permite llagar a los 20,25 m (los destinados al transporte de coches). Como se puede ver en dicho histograma, las frecuencias máximas de longitud de los semirremolques aparecen entre los 15 y los 17 m, cercanos a su límite legal o incluso

sobrepasándolo ligeramente, pues en la práctica existe una cierta holgura en el punto de conexión de la llamada 5ª rueda para ensamblar el semirremolque a la cabeza tractora, y muchos camioneros sobrepasan ligeramente ese límite, mientras que los intervalos de frecuencia máxima de longitud entre los trenes están entre los 18 y los 20 metros, pues también existe cierta holgura para realizar el enlace. Sin embargo, existen unos intervalos donde se dan unas pequeñas proporciones de solape de longitud entre los articulados y los trenes, pues hay un 10% de articulados en que se han medido longitudes de entre 18 y 20 m, mientras que por el otro lado existe una pequeña proporción de trenes (un 6,1%) con una longitud entre 16 y 17 metros.

Como se puede comprobar, parece mucho más clara la diferenciación atendiendo al parámetro de la longitud total de los vehículos que si se tiene en cuenta la distancia entre el primer y segundo ejes, aunque en el procedimiento de clasificación desarrollado se prefirió escoger este último parámetro para diferenciar ambos tipos de vehículo, debido a que la precisión del sistema de pesaje dinámico al determinar las distancias entre ejes es mayor que al determinar longitudes de vehículos.

Figura 18. Comparación entre las distribuciones de las longitudes de los articulados de 4 ejes y de los trenes de 4 ejes con tandem trasero.

5.1.6.1 Diferenciación entre los articulados de 4 ejes con un eje tándem trasero y los articulados de 5 ejes (con eje trídem trasero), cuando llevan el 3º eje levantado

Estos dos tipos de vehículos articulados (los de 4 ejes y los de 5 ejes) tienen unas características muy similares, tanto en peso total como en longitud, siendo el número de ejes el parámetro más usual de diferenciación entre ambos tipos. Naturalmente, esta fácil posibilidad de diferenciación desaparece en el momento en que un articulado de 5 ejes lleva un eje del semirremolque levantado, por circular descargado, pues en ambos casos el sistema de pesaje dinámico sólo va a detectar 4 ejes. Por tanto, en estos casos, se deberá acudir a otros posibles parámetros de diferenciación, que son los siguientes:

- La distancia entre los ejes 2 (el trasero de la unidad tractora) y 3 (el primero del semirremolque), pues al ser la longitud total del vehículo similar en ambos tipos y también la posición del segundo eje de la cabeza tractora, por utilizar ambos tipos cabezas tractoras similares, deberá ser mayor la distancia entre el segundo y el tercer eje detectado en los articulados de 4 ejes que en los de 5 ejes, si llevan el tercer eje elevado, pues la posición del eje trídem es algo más centrada en el semirremolque que la del eje tándem.
- El peso total del vehículo, pues en los articulados de 5 ejes que circulan con un eje levantado, normalmente van descargados, con lo cual su peso será menor que el de los articulados de 4 ejes que circulan cargados. En este caso, existirá un cierto solape en el peso total de los articulados de 5 ejes descargados con los articulados de 4 ejes descargados, pero este solape será pequeño (en frecuencia) si uno de los dos tipos es mucho menos numeroso que el otro, lo que ocurre en la composición actual del tráfico pesado con los articulados de 4 ejes.

Igualmente, se ha examinado más detenidamente las distribuciones de estos dos parámetros, con objeto de tratar de encontrar diferencias en las que se pueda basar la clasificación de estos dos tipos.

Como se puede ver en el histograma de frecuencias relativas de las distancias de separación entre el segundo y el tercer eje (véase la Figura 19), el intervalo de frecuencia máxima para los articulados de 4 ejes está entre los 8,5 y los 9 m, aunque existen bastantes entre 6,5 y 7,5 m, que es el intervalo de separación más frecuente entre los ejes 2º y 3º de los articulados de 5 ejes que circulan con un eje levantado, por lo que existe bastante solape en este parámetro.

Figura 19. Comparación entre las distribuciones de la distancia entre los ejes 2º y 3º en los articulados de 4 ejes y en los articulados de 5 ejes.

En cuanto a la distribución de frecuencias por peso total en ambos tipos de vehículos, que se muestra en la Figura 20, se comprueba que los intervalos de peso de mayor frecuencia entre los articulados de 4 ejes están bastante repartidos entre las 18 toneladas y las 32 toneladas, mientras que para los articulados de 5 ejes que llevan el 3º eje elevado las frecuencias máximas se dan de forma más marcada entre las 16 t y las 24 toneladas. Parece claro también, tal como se ha comentado, que entre las 18 y las 24 toneladas existe un claro solape de pesos totales entre ambos tipos de vehículos, pero hay que tener en cuenta que estas distribuciones son porcentuales, por lo que al existir muchos menos vehículos articulados de 4 ejes, en la práctica, el número total de vehículos de uno y otro tipo que se solapan será pequeña.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el procedimiento desarrollado se ha escogido únicamente el peso total como parámetro de diferenciación entre los articulados de 4 ejes y los de 5 ejes que circulan con el 3º eje levantado, estableciéndose un umbral de 28 toneladas, por debajo del cual un vehículo será considerado como articulado de 5 ejes con uno levantado por circular descargado, y por encima de ese umbral será considerado como articulado de 4 ejes.

Figura 20 Comparación de las distribuciones de peso de los articulados de 4 ejes con la de los articulados de 5 ejes que circulan con el tercer eje elevado

5.1.6.5 Diferenciación entre los camiones rígidos de 2 ejes y los camiones rígidos de 3 ejes que llevan un eje levantado

El principal parámetro de diferenciación entre los camiones rígidos de dos ejes y los camiones rígidos de tres ejes es el número de ejes detectados por el sistema de pesaje dinámico. Sin embargo, esta diferencia desaparece cuando el de tres ejes lleva un eje elevado sobre el pavimento, pues el sistema de pesaje dinámico sólo será capaz de detectar dos ejes.

Por tanto, para diferenciar estos dos tipos de vehículos cuando el rígido de tres ejes lleva un eje elevado sobre el pavimento se debe atender a otros parámetros, entre los cuales se ha escogido estudiar, como más susceptibles de ayudar a distinguir a los dos tipos de vehículos, los siguientes:

1. La longitud de ambos tipos de vehículos
2. La distancia entre los dos ejes apoyados en el pavimento de los camiones de 2 ejes y de los de 3 ejes que llevan un eje levantado
3. El peso de los camiones de 2 ejes y de los de 3 ejes que llevan un eje levantado.

Para visualizar las distribuciones de estos tres parámetros, se han elaborado los histogramas de frecuencia de las Figuras 21, 22 y 23.

Figura 21. Comparación de las distribuciones de longitud de los camiones rígidos de 2 ejes y de los rígidos de 3 ejes

Como se puede ver en la Figura 21, la distribución de longitud de los camiones de dos ejes es apreciablemente diferente de la de los camiones de tres ejes (lleven un eje levantado o no), pues aunque tienen el mismo límite legal de longitud (12 m), el valor más frecuente de la longitud de los camiones de dos ejes es entre 7 m y 8,5 m, mientras que entre los camiones de tres ejes el valor más frecuente es entre 9,5 m y 10,5 m. No obstante existe un cierto solape entre ambas distribuciones, pues aunque apenas existen camiones de 3 ejes de menos de 8,5 m, en cambio sí que existe un número apreciable de camiones de dos ejes de longitud entre 9,5 y 10,5 m, por lo que se deberá acudir a otros parámetros de diferenciación para mejorar la separabilidad de ambos tipos de vehículos.

Figura 22. Comparación de las distribuciones de distancia entre los dos ejes apoyados en el pavimento de los camiones de 2 ejes y de los de 3 ejes con el tercer eje levantado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha buscado otro parámetro cuyos valores pudieran ser diferentes entre los camiones de 2 y de 3 ejes, para que ayudara a distinguir ambos tipos de vehículos. Se ha probado con la distancia entre los dos ejes apoyados en el pavimento de cada tipo de vehículo (véase la Figura 22), pues habiéndose visto que la longitud de los camiones de tres ejes tiende a ser apreciablemente mayor que la de los de dos ejes, sería natural que también lo fuera la distancia entre ejes apoyados.

Sin embargo, a la vista del gráfico de distribuciones de las distancias entre ejes de ambos tipos de vehículo que aparece en la Figura 22, se comprueba que existe bastante solape en esta magnitud en ambos tipos de vehículo, especialmente en el intervalo de separación entre 4,5 m y 5 m, que es el máximo de las dos distribuciones de distancias, por lo cual difícilmente se podrá utilizar este parámetro para distinguir ambos tipos de vehículos. La razón de este fuerte solapamiento entre la separación entre ejes de los dos tipos de vehículo considerados, a pesar de la mayor longitud media del camión de tres ejes, hay que buscarla en que el eje que más frecuentemente aparece levantado es el último eje (el tercero) de los camiones de 3 ejes, estando apoyado en el pavimento el segundo eje (el delantero del tándem trasero), que está

situado en una posición más adelantada respecto a la cola del vehículo, coincidiendo la separación del eje delantero del tándem con la de la separación entre ambos ejes existente en los camiones de 2 ejes.

Figura 23. Comparación de las distribuciones del peso total del vehículo para camiones de 2 ejes y camiones de 3 ejes con un eje levantado.

Por tanto, se ha acudido a otro parámetro de posible diferenciación, como es el peso de ambos tipos de vehículo (véase la Figura 23), pues se supone que si el camión de tres ejes lleva un eje levantado es porque circula vacío o casi vacío, con lo cual la distribución de sus pesos se aproximaría a la de las taras de este tipo de vehículo.

No obstante como se puede ver en la Figura 23, existe también un amplio solape entre las distribuciones de peso de los camiones de 2 ejes y la de los camiones de 3 ejes con un eje levantado, en los intervalos de peso de 10 t a 18 t. En efecto, en estos intervalos coinciden las distribuciones de peso de los camiones de 2 ejes que circulan cargados con la de los camiones de 3 ejes (que se supone que van vacíos o casi vacíos), no existiendo solape en los intervalos de peso por debajo de las 10 t, pues ahí solo existen camiones de 2 ejes, ya que el peso en vacío (tara) de los camiones de 3 ejes suele ser de 10 a 12 t.

Por tanto, no se ha podido encontrar un parámetro que haga que ambos tipos de vehículos sean separables con un alto grado de fiabilidad. En consecuencia, para

considerar a un vehículo como camión de 3 ejes con un eje levantado, se ha puesto como condiciones adicionales que:

1. su longitud sea mayor de 9,5 m (hasta 12 m, el límite legal), aunque se sabe que con esta condición todavía pueden entrar aproximadamente el 20% de los camiones de 2 ejes,
2. tener un peso total de entre 10 t y 14 t, para tener en cuenta que el camión va a circular probablemente vacío (aun a sabiendas de que muchos vehículos de 3 ejes con un eje levantado van a circular con más peso), y
3. tener una distancia entre 1º y 2º ejes menor o igual a 5,8 m.

Tal como se ha mencionado, va a existir un cierto número de vehículos de 3 ejes con un eje levantado que no cumplan alguna estas condiciones (y viceversa, va a existir un número apreciable de camiones de 2 ejes que cumplan alguna de ellas), pero el imponer que se cumplan simultáneamente las tres condiciones va a maximizar la probabilidad de que el vehículo que las cumpla sea un camión de tres ejes con un eje levantado, aunque la probabilidad de acierto no va a ser un 100%.

5.2 Presentación y descripción del método de determinación automática del peso de las cargas transportadas por los vehículos

El **pesaje dinámico** de vehículos proporciona de forma automática y continua el peso total de cada vehículo que pasa sobre el sistema y de cada uno de sus ejes, además de otros parámetros de los vehículos, como la longitud, la distancia entre ejes y su velocidad.

Tal como se ha comentado en el apartado 4.2.3, las principales aplicaciones del pesaje de vehículos en movimiento han sido hasta ahora la optimización del diseño, mantenimiento y conservación de pavimentos y de puentes, los estudios de tráfico y clasificación de vehículos, y la preselección de vehículos sobrecargados (para detectar todos los vehículos que sobrepasan un cierto peso umbral, y desviarlos a una báscula en un área adyacente a la carretera para su pesaje estático). Además, existe el objetivo a corto-medio plazo de conseguir que los sistemas de pesaje dinámico sean capaces de medir los pesos con una precisión suficiente como para poder efectuar su control legal directo.

Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible obtener de forma automática mediante el pesaje dinámico un dato de gran utilidad tanto en cuestiones comerciales como en economía del transporte: el **peso de la carga transportada** por los vehículos.

5.2.1 Planteamiento general del método

El peso de la carga que transporta un vehículo, en principio, puede calcularse como la diferencia entre su peso total y la tara del vehículo. Si se pretende obtener este peso de la carga transportada, aunque sea de forma aproximada, sobre grandes muestras de vehículos (o incluso sobre la población total), deberá idearse un procedimiento que se base en la recogida automática de datos, que como se ha explicado en el apartado 4.1.13 “Ventajas e inconvenientes y aplicabilidad de cada tecnología (de toma de datos del tráfico) para su empleo en la clasificación de vehículos y en la medida de pesos y cargas” solo puede realizarse con sistemas de pesaje dinámico de vehículos.

En efecto, utilizando este tipo de equipos de pesaje se puede obtener automáticamente y de forma continua tanto el peso de los vehículos como su clasificación, que puede servir para estimar su tara de forma aproximada. Sin embargo, el problema para realizar la anterior operación estriba en que tanto el peso del vehículo proporcionado por el equipo de pesaje dinámico como la tara obtenida a partir de su clasificación son **magnitudes sobre las que existe un alto grado de incertidumbre**

Comenzando por la tara de los vehículos basada en su clasificación automatizada, es necesario recalcar en primer lugar que esta clasificación siempre está sujeta a errores, especialmente para algunos tipos de vehículo. Pero, además, incluso aunque la clasificación sea correcta, dentro de cada tipo de vehículos existe una amplia

variabilidad de taras, pues los camiones de cada tipo pueden estar dedicados al transporte de diferentes tipos de carga (bañeras de obra, cisternas, frigoríficos, portacontenedores, etc) que hacen que exista una cierta dispersión de taras dentro del mismo tipo de vehículos, como se verá posteriormente en el apartado 5.2.3 “Bases de datos de las taras de los vehículos”.

Entrando en profundidad en el otro término de la operación, el peso total del vehículo proporcionado por el sistema de pesaje dinámico, podría parecer en un principio que es una cantidad bastante estable en relación con el peso real del vehículo, del que al menos se podría determinar la magnitud de su desviación con respecto a éste. Sin embargo, esto no es tan directo, pues tal como se explica detenidamente en el artículo [22] realizado por el autor de esta Tesis, la fuente de más importante de errores en los sistemas de pesaje en movimiento tiene su causa en que lo que realmente miden estos sistemas son las fuerzas que ejercen los neumáticos de los vehículos sobre el pavimento, que tienen una componente de tipo dinámico debida a la vibración del vehículo al ser excitado por la superficie del firme. Debido a este efecto puede variar apreciablemente el peso obtenido por un sistema de pesaje dinámico del peso medido en una báscula estática, que puede considerarse como el real.

Figura 24. Variación de las cargas de un vehículo a diferentes velocidades [42].

En algunos estudios se ha tratado de evaluar el valor de la amplitud de estas oscilaciones, como el llevado a cabo por S. Ma y M. Caprez [43], que determinó que la

amplitud de oscilación puede llegar a un 40% o un 50% de la carga estática en pavimentos en estado deficiente con $PSI = 2$, debiendo de tener el pavimento como mínimo un $PSI = 3,5$ para que estas cargas dinámicas no superen el 15% para una velocidad del vehículo de 80 km/h.

El problema que plantea esta circunstancia proviene de que el sensor de peso queda instalado en un punto determinado de la carretera, y solamente podrá medir la carga aplicada por el vehículo en ese lugar, que constituye un punto de la función de variación en el espacio de su carga dinámica, pudiendo apartarse bastante de su peso estático (alrededor de un $\pm 20\%$ de su valor en firmes en buen estado), que es normalmente la magnitud que se pretende medir.

Como consecuencia, aunque los anteriores efectos se pueden corregir en gran medida con una adecuada calibración, será de gran importancia instalar los sensores en un pavimento cuyas características superficiales sean suficientemente buenas como para acotar los efectos dinámicos de las cargas y de esta forma mejorar la exactitud de sus medidas.

Por tanto, teniendo en cuenta las anteriores incertidumbres, **se va a establecer un procedimiento totalmente automático para la determinación de las cargas transportadas por los vehículos pesados mientras circulan por la carretera, mediante la utilización de sistemas de pesaje dinámico**, en el cual se va a estudiar en profundidad el error (tanto de cada vehículo individual como del conjunto de vehículos que constituye el tráfico de una carretera) que se comete al seguir este método aproximado frente a los valores reales de estas cargas transportadas, con objeto de tratar de limitar su magnitud y permitir su aplicabilidad en condiciones reales en la carretera.

5.2.2 Exposición detallada del método de determinación automática de la carga transportada

Para comenzar, es claro que el peso total de cada vehículo se corresponde con la suma de la tara del vehículo más el peso de la carga que transporta, es decir:

$$\text{Peso total del vehículo} = \text{Tara del vehículo} + \text{Peso de la carga transportada}$$

Por tanto, si se desea obtener el peso de la carga que transporta un vehículo, éste podría obtenerse realizando la operación:

$$\text{Carga transportada} = \text{Peso Total vehículo (medido con WIM)} - \text{Tara (desconocida)}$$

El problema para realizar la anterior operación estriba, como se ha dicho, en que no se puede conocer directamente la tara de cualquier vehículo pesado que pase sobre el equipo de pesaje, por lo que la cuestión que se deberá resolver para calcular la carga transportada, estará en realizar, de forma automática, una estimación de la tara de cada vehículo, que sea suficientemente precisa.

La forma más fácil y directa de llevar esto a cabo sería asignar a todos los vehículos pesados de transporte la tara media de todo el parque de vehículos pesados, pero es obvio que, dada la diversidad de vehículos pesados de transporte existentes, este procedimiento no produciría resultados medianamente ajustados, por lo que se debería afinar más en dicha estimación. Parece claro que si se pudiera distinguir de forma automática, al menos, entre las tres grandes clases de vehículos pesados existentes (camiones rígidos, articulados y trenes de carretera), la precisión en la estimación de la tara para cada una de estas tres clases de vehículos de transporte mejoraría.

Si se pudiera desglosar a su vez estas tres grandes clases mencionadas de vehículos pesados en tipos más homogéneos, se podría minimizar el error que se comete al asignar a cada vehículo la tara media correspondiente al tipo específico al que pertenece. Obviamente, este paso debería apoyarse en una determinación automática bastante detallada y fiable de la silueta (composición) del tráfico, operación que se podría apoyar en el sistema de clasificación desarrollado en el Apartado 5.1.

Por otro lado, para poder asignar como tara de cada vehículo de un tipo determinado a la tara media del tipo de que se trate se deberá disponer de los datos de las taras medias de cada tipo de vehículo. De las diferentes bases de datos que existen sobre las características de los vehículos, algunas se refieren al parque de general de vehículos (como es el Registro General de Vehículos, de la Dirección General de Tráfico), otras a los vehículos nuevos que se venden cada año (datos de los fabricantes o de los carroceros) y otras a los vehículos que circulan por la carretera (provenientes de datos de campañas de pesaje o de encuestas a los transportistas). Posteriormente se explicará cada una de ellas.

En resumen, **el procedimiento de determinación automática del peso de las cargas transportadas** que se desarrolla en este artículo se basará en llevar a cabo los siguientes pasos:

- 1- Determinación automática del peso total de cada vehículo, que será directamente el peso medido en la carretera proporcionado por el sistema de pesaje dinámico.

Con ello se obtendría lo que se denominará el **peso dinámico total** del vehículo, de forma abreviada, **P_{din}**, que normalmente se diferenciará en alguna medida del **peso real** del vehículo, que a efectos prácticos puede considerarse como el que es obtenido en una báscula de pesaje estático homologada, que se designará como **P_{est}**, y que puede considerarse como el peso verdadero.

- 2- Clasificación de forma también automática de cada vehículo según un esquema de silueta (composición) del tráfico lo más detallada posible, acción que realizará también el sistema de pesaje dinámico (o un ordenador auxiliar que contenga el programa de clasificación).

De esta forma, se obtendrá el tipo estimado de vehículo, que la mayor parte de las veces coincidirá con el tipo real, si el procedimiento de clasificación ha sido suficientemente exacto, aunque podrá diferir en algunos casos.

- 3- Asignación a cada vehículo de una tara, cuyo valor se corresponderá con el del estimador más fácil de obtener, que es **la tara media del tipo** en que ha sido clasificado por el sistema de pesaje dinámico.

Es decir, que en el proceso de cálculo se sustituirá el valor de la **tara real** de cada vehículo (normalmente desconocida) por una **tara estimada**, que por principio se ha establecido que tendrá como valor el de la tara media del tipo de vehículos al que pertenece el vehículo en cuestión.

- 4- Cálculo de la carga transportada por cada vehículo, restando del peso del vehículo proporcionado por el sistema de pesaje dinámico la tara asignada al vehículo en cuestión (la media del tipo en el que ha sido clasificado).

Por tanto, la carga transportada estimada (designada como **carga estimada**) equivaldrá al peso dinámico (P_{din}) del vehículo menos su **tara estimada**.

$$\text{Carga estimada} = P_{\text{din}} - \text{Tara estimada}$$

Esta carga estimada que transporta el vehículo, en principio, diferirá de la **carga real** del vehículo, que será igual al **peso real** (estático) del vehículo, P_{est}, menos la **tara real** del vehículo.

$$\text{Carga real} = P_{\text{est}} - \text{Tara real}$$

Es decir, que el método producirá una estimación de la carga transportada, que se denominará **carga estimada**, que tendrá un cierto error en relación con la **carga real**, cuyo valor vendrá dado por la expresión:

$$\text{Error absoluto} = \text{Carga estimada} - \text{Carga real}$$

Y el error relativo vendrá dado por la expresión:

$$\text{Error relativo (\%)} = (\text{Error absoluto} / \text{Carga real}) \cdot 100$$

De todos los pasos del anterior proceso, el que entraña una mayor dificultad es la asignación a cada vehículo de una tara media correspondiente al tipo al que pertenece, pues requiere un estudio cuidadoso, basado en el análisis de la variabilidad de la tara media de los vehículos de cada tipo, todo ello con objeto de maximizar la precisión en la estimación de la carga transportada. Uno de los estudios que se lleva a cabo en este documento consiste en determinar el error que se comete al sustituir la carga real transportada (en principio, desconocida, salvo que se realice un ensayo en que se pese estáticamente al vehículo y, además se conozca su tara real) por la carga

estimada, que se puede determinar automáticamente según el procedimiento que se acaba de explicar.

5.2.3 Bases de datos de las taras de los vehículos

Como se ha expuesto en el apartado anterior, en el que se ha presentado el método de estimación de la carga transportada, para llegar a determinar este resultado se deberá restar del peso proporcionado para cada vehículo por el sistema de pesaje dinámico, un peso en vacío o tara, que sea lo más ajustado posible a la tara real de éste. Para ello, se deberá disponer de los datos de las taras medias de cada tipo de vehículo, con el fin de asignar a cada vehículo la tara media del tipo al que supuestamente pertenezca, que será el tipo en el que sea clasificado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico.

En consecuencia, para conseguir este objetivo, el procedimiento debe apoyarse en:

- Lograr una clasificación muy detallada, en tipos de vehículos que sean lo más homogéneos posible.
- Poseer una base de datos de las taras de los vehículos existentes o que circulan por la carretera, que permita estimar la tara media de cada tipo de vehículo con suficiente exactitud respecto a la del tráfico de la carretera.

De las diferentes bases de datos que existen sobre las características de los vehículos, éstas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Las que se refieren al parque de vehículos existente. Entre éstas bases de datos se puede citar la del **Registro General de Vehículos**, de la Dirección General de Tráfico, que incluye los datos del parque total de vehículos en España, y las **bases de datos de los fabricantes y carroceros** sobre las características de los vehículos nuevos que se venden cada año.
- Las que se refieren al parque de vehículos circulante, que es el que se mueve en cada momento por una red de carreteras (por ejemplo, la red total de carreteras interurbanas de España, la Red de Carreteras del Estado, la Red de cada una de las Comunidades Autónomas o de las Diputaciones) o por alguna carretera en particular. Entre estas bases de datos se pueden citar la **de las campañas de pesaje dinámico realizadas por el CEDEX** en la Red de Carreteras del Estado y la **base de datos de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera**, que se correspondería con el parque circulante en la red total de carreteras interurbanas de nuestro país.

A continuación, se exponen las características principales de cada una de las cuatro bases de datos de características de los vehículos que se acaban de citar.

El orden en el que se van describir estas bases de datos no será el que parece más natural, que es el que se acaba de mencionar, es decir, comenzar por las bases de datos del parque de vehículos existente y pasar después a las bases de datos del parque circulante, sino que se explicarán partiendo del orden en el que han sido

recibidos los datos de cada una de ellas. Por eso, como las bases de datos del parque circulante fueron obtenidas antes, comenzando por la base de datos de la campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX entre 2000 y 2003, en la cual participó el autor de esta Tesis, se describirá ésta en primer lugar. Además, como se conocen en profundidad los supuestos en que se basó la recogida y el tratamiento de la información contenida en la base de datos de la campaña de pesaje 2000-2003 del CEDEX, así como su fiabilidad, será ésta base la que sirva de referencia en los cálculos que se van a exponer en apartados posteriores.

Después de la base de datos de la campaña de pesaje del CEDEX, se continuará con la de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) y luego se pasarán a describir las bases de datos relativas al parque de vehículos, que son la del Registro General de Vehículos de la DGT y, por último, la de los fabricantes y carroceros de camiones, remolques y semirremolques.

5.2.3.1 Base de datos de la campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX en la RCE

Esta base se refiere a los datos de una muestra de 35.538 vehículos pesados cuyos datos fueron recogidos en la última campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX en la Red de Carreteras del Estado (RCE), que se llevó a cabo entre los años 2000 y 2003. Esta muestra se recogía durante 6 horas simultáneamente a la realización de los pesajes en cada una de las 70 estaciones de la campaña.

Por tanto, de todos los datos obtenidos en esta muestra de cada uno de los vehículos, algunos fueron recogidos automáticamente por los sistemas de pesaje dinámico utilizados en la campaña (como pueden ser la longitud de los vehículos, el número de ejes (apoyados sobre el pavimento) de cada vehículo, o la separación entre cada uno de estos dos ejes); mientras que otros datos de los mismos vehículos fueron tomados visualmente en la carretera por unos operarios al mismo tiempo que se realizaban los pesajes, recogiendo de esta forma una información que no podía ser captada por el equipo de pesaje dinámico, como son las taras y los PMA de los vehículos, si los ejes eran de rueda sencilla o gemela, si el vehículo llevaba ejes levantados sobre el pavimento, la matrícula, etc.

Estos datos tomados visualmente son de gran valor, pues por un lado sirven de comprobación de algunas de las características de los vehículos obtenidas automáticamente (por ejemplo, el número de ejes de cada vehículo) y, por otro, proporcionan información sobre algunos parámetros importantes, como es la tara o la antigüedad de los vehículos.

Uno de los resultados de más interés práctico de esta muestra fue la realización de unas Tablas en las que se exponían los valores obtenidos sobre ciertos parámetros de los vehículos (tara, longitud, distancia entre cada dos ejes), incluyendo su valor medio y su desviación típica, desglosados en más de 30 tipos de vehículos, pues al tratarse de una muestra tomada visualmente por operarios muy entrenados, se pudo diferenciar entre los distintos tipos de vehículos no sólo en cuanto a su número de ejes y la

configuración de estos, sino atendiendo también a otros parámetros, como eran la existencia de ejes de rueda sencilla o gemela, o el tipo de vehículo (furgón, camión) y de carga (cisterna, bañera de obra, plataforma, volquete, portacontenedores, frigorífico, etc).

En la Tabla 15 se muestra el valor promedio de las taras obtenidas en la base en la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 para cada uno de los tipos agrupados de vehículos que se pueden obtener para su clasificación automática, así como los valores de dispersión de las taras de cada tipo respecto a sus valores medios. Las casillas que figuran en blanco se refieren a tipos de los cuales no se registraron vehículos en la campaña 2000-2003.

Tabla 15. Valores promedio de las taras de los distintos tipos de camiones registrados en la muestra visual de la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 realizada por el CEDEX, así como desviación típica absoluta y porcentual de las taras de cada tipo respecto a su valor medio.

Campaña de pesaje CEDEX 2000-2003			
Tipo de vehículo	Tara media tipo (kg)	Desv. típica (kg)	Coef. Varia (%)
Camión 2 ejes	6372	2005	31,5
Camión 3 ejes	11386	985	8,7
Camión 4 ejes	13917	546	3,9
Camión de más de 4 ejes			
Tractor 2 ejes + semirremolque 1 eje	13638	948	7,0
Tractor 2 ejes + semirremolque 2 ejes	14085	1055	7,5
Tractor 2 ejes + semirremolque 3 ejes	14669	1065	7,3
Tractor 3 ejes + semirremolque 2 ejes	17250	250	1,5
Tractor 3 ejes + semirremolque 3 ejes			
Tractor + semirremolque: otras comb.			
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 1 eje			
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 2 ejes	12917	1294	10,0
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 3 ejes	13187	1352	10,3
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 2 ejes	15874	1301	8,2
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 3 eje	16213	1246	7,7
Tren. Camión y remolque: otras comb.			

5.2.3.2 Base de datos de la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC)

La Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera se trata de una encuesta realizada a los transportistas mediante el envío postal de un cuestionario de actividad semanal de una muestra suficiente de vehículos, repitiéndose este proceso durante las 52 semanas del año; de ahí la denominación de “encuesta permanente” [44].

El tamaño de la muestra es de 41.600 vehículos entrevistados al año. El ámbito de estudio o población de referencia son los vehículos autorizados para el transporte pesado de mercancías por carretera, es decir, los vehículos en disposición de la tarjeta que bien el Ministerio, bien la Comunidad Autónoma correspondiente, otorga para la habilitación de la actividad del transporte de mercancías.

El transporte cubierto por la Encuesta es el denominado transporte pesado, que de acuerdo con el Reglamento de la Ley de Ordenación del Transporte Terrestre (LOTT), son los vehículos con más de 6 toneladas de peso y más de 3,5 toneladas de capacidad de carga.

Los vehículos incluidos son los vehículos de tracción, es decir, tanto los vehículos rígidos como las cabezas tractoras, que cumplen las condiciones de vehículos pesados.

Lo que se investiga en esta encuesta son tanto las operaciones interurbanas de transporte como los viajes realizados por los vehículos. En la Encuesta se recogen únicamente los desplazamientos que supongan la salida de un mismo término municipal, es decir, quedan excluidos los desplazamientos dentro de un mismo municipio.

Las variables recogidas en la EPTMC son:

Relativas a los vehículos:

- Tipo de servicio
- Ámbito de autorización
- Antigüedad
- Capacidad de carga
- PMA
- Nº de ejes

Del vehículo remolcado:

- Capacidad de carga
- PMA
- Nº de ejes

Relativas a las operaciones de transporte:

- Día de la semana de comienzo
- Origen (municipio)
- Destino (municipio)
- Distancia recorrida
- Carga transportada
- Tipo de mercancías (NSTR)
- Tipo de operación
- toneladas-km
- la pertenencia de la mercancía a alguna clase ADR de mercancía peligrosa
- El precio del servicio (en esta variable la falta de respuesta es del 20 al 40%)

El procedimiento utilizado para realizar la Encuesta consiste en las siguientes fases:

- Primeramente, en realizar una estratificación de la población de vehículos autorizados.
- Selección aleatoria de la muestra, realizada por la Dirección General del Transporte Terrestre, a partir de las instrucciones de la Subdirección General de Estadística del Ministerio de Fomento. La muestra anual se fija en 41.600 vehículos, que repartida entre las 52 semanas del año, lo que supone que semanalmente se investiga la actividad de 800 vehículos.
- Trabajos de campo, enviándose los 800 cuestionarios semanales además de otros 200 de muestra suplente.
- Validación de la información
- Explotación de los resultados, calculando los estimadores correspondientes
- Publicación y difusión de los resultados.

Para el estudio realizado en este documento, se ha dispuesto de los datos de una de las Encuestas más recientes, la del año 2013. En la Tabla 16 se muestran los valores promedio de las taras de cada tipo de vehículo de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías del citado año 2013, así como los valores de dispersión correspondientes.

Tabla 16. Taras medias de cada tipo de vehículo obtenidas en la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) de 2013, así como desviación típica absoluta y porcentual de las taras de cada tipo.

Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) 2013			
Descripción	Tara media tipo (kg)	Desv. típica (kg)	Coef. Varia (%)
Camión 2 ejes	7905	2570,8	32,5
Camión 3 ejes	12250	2111,8	17,2
Camión 4 ejes	14396	2423,1	16,8
Camión más de 4 ejes	11053	1303,2	11,8
Tractor 2 ejes + semirremolque 1 eje			
Tractor 2 ejes + semirremolque 2 ejes	13084	3574,2	27,3
Tractor 2 ejes + semirremolque 3 ejes	14524	2275,0	15,7
Tractor 3 ejes + semirremolque 2 ejes	9273	4178,7	45,1
Tractor 3 ejes + semirremolque 3 ejes	14116	3204,0	22,7
Tractor + semirremolque: otras comb.	15128	6122,9	40,5
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 1 eje	8000	0,0	0,0
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 2 ejes	17316	3724,6	21,5
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 3 ejes	17709	3998,5	22,6
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 2 ejes	17751	3711,4	20,9
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 3 eje	18448	4161,9	22,6
Tren. Camión y remolque: otras comb.	16754	4069,6	24,3

5.2.3.3 Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico

El artículo 5 de la Ley sobre Tráfico, aprobada por Real Decreto Legislativo 339/1990, atribuye al Ministerio del Interior la competencia sobre el Registro de Vehículos. Las características de este Registro se desarrollan en el Reglamento General de Vehículos, aprobado por Real Decreto 2822/1998, que, en su artículo 2, encomienda a la Jefatura Central de Tráfico la responsabilidad de llevar un registro de todos los vehículos matriculados, que adoptará para su funcionamiento medios informáticos y en el que figurarán, al menos, los datos que deben ser consignados obligatoriamente en el permiso o licencia de circulación.

Los objetivos preferentes del Registro son la identificación del titular del vehículo, el conocimiento de las características técnicas del mismo y de su aptitud para circular, la comprobación de las inspecciones realizadas, la concertación del seguro obligatorio de automóviles y del cumplimiento de otras obligaciones legales, y finalmente la constatación del Parque de Vehículos y su distribución, con fines estadísticos.

Por ello, el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico incluye los datos que vienen reflejados en la Ficha Técnica de todos los vehículos (ligeros y pesados) que conforman el parque de vehículos existente en España. En la Tabla 17 figuran los datos que posee la Dirección General de Tráfico sobre cada vehículo, aunque no de todos se puede realizar un tratamiento u ordenación.

Tabla 17. Datos que aparecen en el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico sobre cada vehículo

MATRÍCULACIÓN Matrícula. Tipo de matrícula. Fecha de matriculación.	DATOS TÉCNICOS Tipo de propulsión (motor). Cilindrada. Potencia. Tara. Masa máxima. Masa máxima técnicamente admisible. Relación potencia/masa (motocicletas). Número de plazas. Emisiones medias de CO ₂ . Distancia entre ejes. Vía anterior. Vía posterior.	INFORMACIÓN SOBRE SEGURO DE SUSCRIPCIÓN OBLIGATORIA Compañía. Fechas de inicio y fin.
DATOS GENERALES Bestidor. Variante. Versión. Contraseña de homologación. Marca. Modelo. Color. Tipo. Procedencia. Servicio.		OTROS Conductor habitual. Arrendatario. Precintos. Embargos. Reservas de dominio. Impagos del IVTM. Sustracciones.
DATOS DEL TITULAR (O TITULARES): Nombre. DNI. Domicilio.		
DOMICILIO FISCAL	INSPECCIONES TÉCNICAS Fechas de las inspecciones. Estaciones. Fecha de caducidad. Resultado. Tipos de defectos. Kilometraje.	
HISTORIAL DE TRÁMITES Tipo de trámite. Fecha y unidad de tramitación. Titular previo (en caso de transferencia).		

Hay que señalar que la base de datos del Registro General de Vehículos no contiene como datos ni la clase del vehículo (rígido, articulado, tren de carretera) ni, dentro de

estas tres grandes clases, el tipo concreto, basado en el número de ejes y la ordenación de estos. Por otro lado, aunque contiene el número de ejes de cada vehículo y la distancia entre cada dos ejes, no permite realizar la ordenación de los vehículos de acuerdo con estos parámetros, por lo cual, en primera instancia, no se puede obtener la clasificación de los vehículos pesados según uno de los esquemas típicos utilizados por las administraciones de carreteras de los distintos países.

Además, en el Registro General de Vehículos no aparecen los vehículos articulados ni los trenes de carretera como vehículos unitarios, sino que se encuentran por un lado las cabezas tractoras y, por otro, los remolques y los semirremolques, lo que aumenta la dificultad para obtener una clasificación similar a la de los esquemas de clasificación normalmente utilizados.

Por tanto, ha sido preciso realizar un estudio *ad hoc* para poder establecer una correspondencia aproximada entre los tipos definidos por el Registro General de Vehículos con los de los esquemas de clasificación en que se muestran los resultados de la Campaña de Pesaje del CEDEX y de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera, que son susceptibles de ser programados en el sistema de pesaje para su obtención automatizada.

Afortunadamente, la base de datos del Registro General de Vehículos sí que contiene un dato que puede hacerse corresponder aproximadamente con las clases y tipos de vehículos de los típicos esquemas de clasificación utilizados por las administraciones de carreteras, que es el peso (masa) máximo admitido (PMA o MMA).

La correspondencia es bastante buena debido a que en el Anexo IX “Masas y dimensiones” del Reglamento General de Vehículos (véase el Apartado 3.3) vienen especificados los pesos máximos en función de unos tipos y clases de vehículos, que están definidos en función del número de ejes (dos, tres, cuatro o más ejes) y de la clase de vehículos (rígidos, articulados, trenes de carretera), es decir, que se basan en unos parámetros similares a los utilizados por los esquemas de clasificación de las administraciones de carreteras

No obstante, aun así existe la dificultad de que las masas máximas admitidas para cada vehículo que aparecen en el Registro General de Vehículos para las cabezas tractoras, semirremolques y remolques no especifican muchas veces el valor máximo permitido para estos elementos de los vehículos, sino que frecuentemente informan del peso (masa) máximo admitido para el conjunto de vehículos completo (cabeza tractora + semirremolque o camión rígido + remolque). Por último, hay que señalar que el Registro General de Vehículos contiene los datos de todos los vehículos, remolques y semirremolques matriculados en España, tanto ligeros como pesados, pero como el presente estudio se refiere solamente a los vehículos pesados, se han considerado sólo los datos de los vehículos cuya MMA es de más 3.500 kg.

Por consiguiente, sobre la base de las masas máximas admitidas especificadas para cada unidad vehicular, se ha realizado la correspondencia que se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Correspondencia entre las diferentes clases de vehículos definidas en el Registro General de Vehículos por su masa máxima admitida (MMA) con las clases definidas por su número de unidades (vehículos) independientes (rígido, tractor+semirremolque, rígido+remolque), y número de ejes.

MMA según Registro General de Vehículos	Nº de vehículos	Se corresponde con...	Tipo real de vehículo asimilable
Vehículos rígidos			
- de 3.501 kg a 18.000 kg	223.159	→	Rígido de 2 ejes
- de 18.001 kg a 20.000 kg	18.966	→	Rígido de 2 ejes
- de 20.001 kg a 26.000 kg	59.841	→	Rígido de 3 ejes
- de 26.001 kg a 38.000 kg	12.181	→	Rígido de 4 ó más ejes
Cabezas tractoras			
- de 3.501 kg a 40.000 kg	205.141	→	Cabeza tractora de 2 ejes
- de 40,001 kg a 44.000 kg	83	→	Cabeza tractora de 3 ejes
Semirremolques			
- de 3.501 kg a 40.000 kg	250.594	→	Semirremolque de 1,2 ó 3 ejes
- de 40,001 kg a 44.000 kg	2.250	→	Semirremolque de 2 ó 3 ejes
Remolques			
- de 3.501 kg a 40.000 kg	40.806	→	Remolque de 2,3 ó 4 ejes
- de 40,001 kg a 44.000 kg	384	→	Remolque de 2,3 ó 4 ejes

Teniendo en cuenta el valor promedio de las taras de todos los vehículos según los tipos definidos por intervalos de MMA en el Registro General de Vehículos, y asimilando estos tipos a los correspondientes en los esquemas de clasificación utilizados por las administraciones de carreteras, se obtienen las taras medias y medidas de dispersión que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Taras medias de cada tipo de vehículos definidos según su masa máxima admitida (Registro General de Vehículos) y según el esquema de clasificación típico propuesto (basado en el número de ejes y unidades de vehículo).

MMA según RGV	Tara media (kg)		Tipo real de vehículo asimilable	Tara media (kg)	Desv. Típica (kg)	Coef. Variac. (%)
Vehículos rígidos						
de 3.501 kg a 18.000 kg	6.191	→	Rígido de 2 ejes	6.416	2.706	42,2 %
de 18.001 kg a 20.000 kg	9.063	→				
de 20.001 kg a 26.000 kg	12.913	→	Rígido de 3 ejes	12.913	2.701	20,9 %
de 26.001 kg a 38.000 kg	14.476	→	Rígido de 4 ó más ejes	14.476	4.132	28,5 %
Cabezas tractoras						
de 3.501 kg a 40.000 kg	7.591	→	Cabeza tractora de 2 ejes	7.591	1.321	17,4%
de 40,001 kg a 44.000 kg	7.591	→	Cabeza tractora de 3 ejes			
Semirremolques						
de 3.501 kg a 40.000 kg	7.295	→	Semirremolque de 1,2 ó 3 ejes	7.295	3.438	47,1 %
de 40,001 kg a 44.000 kg	7.294	→	Semirremolque de 2 ó 3 ejes			
Remolques						
de 3.501 kg a 40.000 kg	6.538	→	Remolque de 2,3 ó 4 ejes	6.538	2.674	40,9 %
de 40,001 kg a 44.000 kg	6.550	→	Remolque de 2,3 ó 4 ejes	6.550	2.683	41,0 %
Conjuntos de vehículos						
Veh. articulado = Cabeza tractora (MMA ≤ 44 t) + Semirremolque (MMA ≤ 44 t)				14.886	3.683	24,7 %
Tren 1: Camión 2 ejes (MMA ≤ 20 t) + Remolque (MMA ≤ 40 t)				12.954	3.804	29,4 %
Tren 2: Camión 3 ejes (MMA ≤ 26 t) + Remolque (MMA ≤ 44 t)				19.462	3.806	19,6 %

Como se puede ver en la Tabla 18, se han asimilado a vehículos rígidos de 2 ejes tanto los camiones pesados con $MMA \leq 18$ t, pues éste es su límite en el Reglamento General de Vehículos vigente, como los camiones pesados con $18 \text{ t} < MMA \leq 20$ t, pues éste era el límite de peso para este tipo de vehículos en el antiguo Código de Circulación y todavía quedan en circulación una cantidad apreciable de estos vehículos.

Hay que señalar que la mayor parte de los camiones de 2 ejes tienen masas máximas admitidas inferiores a los límites genéricos establecidos para el grupo completo (18 t si se trata de vehículos “nuevos”, entendiendo como tales los matriculados después del 1 de enero de 1995, y 20 t para los vehículos “antiguos”, matriculados antes de 1.995), pues en la categoría de los camiones de 2 ejes entran vehículos de tipos muy diferentes, desde pequeños camiones de reparto hasta camiones grandes de transporte de áridos, cuyas masas se aproximan a las 18 o 20 t.

Con los camiones rígidos de 3 y de 4 ó más ejes no existe ningún problema, pues los límites de peso de estos tipos según su MMA en el Reglamento General de Vehículos coinciden con las clases definidas según el número de ejes. Además, en estas categorías de vehículos una gran parte de ellos tienden a tener una MMA cercana a la máxima admitida para el grupo completo, por lo que la posibilidad de que exista un solape con las taras de los vehículos de categoría inferiores (camiones de 2 ejes) es pequeña, lo que posibilita su diferenciación y clasificación atendiendo a este parámetro.

En lo relativo a las cabezas tractoras se han asimilado todas las cabezas tractoras de cuyo límite de peso son 40 toneladas a cabezas tractoras de 2 ejes, pues más del 99 % de las cabezas tractoras en España tienen este número de ejes y dan lugar al vehículo articulado más común, que es el articulado de 5 ejes (que incluye un eje trídem en el semirremolque), cuya masa máxima admitida son 40 t. Por su parte, las cabezas tractoras cuya masa máxima admitida está entre las 40 t y las 44 t se han asimilado a cabezas tractoras de 3 ejes, pues cuando se conectan con un semirremolque en transporte combinado dan lugar a un tipo de vehículo articulado cuya MMA son 44 t.

De todas maneras, como se puede ver en la Tabla 16, esta distinción entre las cabezas tractoras tiene pocos efectos prácticos en cuanto a la tara media de todo el conjunto, pues la tara media tanto de las cabezas de MMA ≤ 40 t como de las cabezas de MMA entre 40 t y 44 t es prácticamente la misma: 7.591 kg.

Es necesario señalar también que no se han tenido en cuenta las cabezas tractoras cuya MMA es mayor de 44 toneladas, pues normalmente se trata de elementos de tracción para vehículos especiales.

Al igual que para las cabezas tractoras, se ha realizado una distinción entre dos categorías de semirremolques según su masa máxima admitida: la de los semirremolques cuya MMA está entre 3,5 t y 40 t, que es la típica del transporte pesado nacional, y la de los semirremolques cuya MMA está entre 40.001 kg y 44.000 kg, pues se supone que estos se utilizarán conjuntamente con cabezas tractoras de 3 ejes para transporte combinado. Aun así, la distinción es meramente formal en cuanto a las taras, pues, como se puede ver, en ambos tipos la tara media es prácticamente la misma (unos 7.295 kg).

El hecho de que las taras medias sean las mismas tanto para las dos categorías de cabezas tractoras como para las dos categorías de semirremolques, hace posible establecer una única categoría de vehículo articulado para la definición de las taras medias de este tipo de vehículo, que es la suma de la taras medias de cada uno de sus

componentes: cabezas tractoras (7.591 kg) y semirremolques (7.295 kg), dando lugar a una tara media del conjunto general de los vehículos articulados en de 14.886 kg.

En cuanto a los remolques se han establecido también las dos mismas categorías que para las cabezas tractoras y para los semirremolques: los de masa máxima admitida hasta 40 t y los de MMA entre 40 t y 44 t. Igualmente, para ambas categorías resultan unas taras medias muy similares (6.538 kg y 6.550 kg respectivamente), Sin embargo, al considerar el conjunto de vehículos completo (tren de carretera), en este caso se debe realizar una distinción en función del tipo de camión tractor al que se acoplen, pudiendo establecerse dos grupos:

1. Camión de 2 ejes + remolque ($MMA \leq 40$ t), cuya tara media es de:
 $6.416 \text{ kg} + 6.538 \text{ kg} = 12.954 \text{ kg}$
2. Camión de 3 ejes + semirremolque ($MMA \leq 44$ t), con tara media de
 $12.913 \text{ kg} + 6.550 \text{ kg} = 19.462 \text{ kg}$.

5.2.3.4 Datos de características de los vehículos proporcionados por los fabricantes o por los carroceros/adaptadores de los vehículos pesados

Esta base se refiere a los datos que proporcionan los fabricantes de vehículos sobre las características de los vehículos fabricados o vendidos cada año en España. Naturalmente, para conocer las características del conjunto total de vehículos se deben realizar hipótesis sobre la tasa de sustitución de los vehículos viejos por otros nuevos en nuestro país, lo cual es un procedimiento bastante laborioso.

En el año 1986 el CEDEX publicó una monografía titulada “Caracterización del tráfico pesado en el dimensionamiento de firmes. El espectro de vehículos pesados en España” [5], escrita por Ramón Crespo, que realizó unas hipótesis de sustitución de los vehículos antiguos por otros nuevos. No obstante, éste es un aspecto bastante complicado, pues no se trata solamente de actualizar las características (taras principalmente) de los distintos tipos de vehículos, sino que en periodos largos también cambia la participación (composición) de los distintos tipos de vehículos e, incluso, pueden aparecer tipos nuevos.

Hay que decir que desde finales de la década de los 80 al año 2000 cambiaron significativamente las características del parque de vehículos pesados en España, pues entonces todavía predominaban los vehículos rígidos (camiones de 2,3 o 4 ejes) incluso para el transporte de largo recorrido, mientras que actualmente predominan para este tipo de transporte los vehículos articulados, habiéndose mantenido en una proporción bastante reducida (del orden del 2%) los trenes de carretera. Actualmente, se mantiene a grandes rasgos la tipología de vehículos que existía en el 2000, lo cual facilita la realización de las hipótesis de variación de las características (taras) del parque.

Las empresas fabricantes de camiones pesados y cabezas tractoras, o que las comercializan en España, son las siguientes: BMC, DAF, IVECO, MAN, Mercedes –Benz, Renault Trucks, Scania y Volvo. Además, existen algunas otras más que fabrican o

venden furgones y camiones de tipo ligero (hasta unas 7,5 t de MMA) como son Isuzu, Peugeot, Opel y Nissan.

En la Tabla 20 figuran los datos de las taras, peso máximo admitido y otras variables adicionales de vehículos nuevos extraídos del Catálogo de 2017 publicado en la Revista “Transporte Profesional” [45].

Tabla 20. Valores de las taras y otras características de los camiones nuevos en España (Fuente: Transporte profesional. Catálogo 2017, nº 369, año 2016).

Tipo de vehículo		Cilindrada (cm3)	Potencia (CV)	Tara (kg)	Carga Útil (kg)	MMA (kg)
Rígido de 2 ejes	Media	7685	297	5084	8757	13840
	Desviación típica	3647	125	1820	3435	4992
	Valor máximo	16400	750	8255	14300	18000
	Valor mínimo	1796	87	1675	1095	3500
Rígido de 3 ejes	Media	11137	411	8385	17527	25969
	Desviación típica	2166	87	959	1096	352
	Valor máximo	16400	750	10270	20650	26000
	Valor mínimo	6700	238	5350	11520	22000
Rígido de 4 ejes	Media	12232	455	10042	22195	31990
	Desviación típica	1511	76	1306	1636	110
	Valor máximo	16100	750	14990	28000	32000
	Valor mínimo	8709	286	6537	17010	30750
Cabezas tractoras	Media	12118	454	7755	32216	39955
	Desviación típica	2132	86	1191	1303	673
	Valor máximo	16400	750	10957	33776	40000
	Valor mínimo	7700	238	6110	23890	30000

Para obtener la tara total de los vehículos articulados y trenes de carretera, además de la información proveniente de los fabricantes de vehículos, es necesario obtener datos por parte de las empresas fabricantes de los semirremolques y remolques, de las cuales existe un gran número que opera en España y que además de fabricar el chasis de la unidad remolcada, se ocupan de carrozar el camión según el tipo de transporte específico a que se vaya a dedicar el vehículo (camiones frigoríficos, portacontenedores, plataformas, volquetes y bañeras de obra, cajas cerradas, lonas, etc).

Entre las empresas más importantes que fabrican semirremolques y remolques se pueden citar las siguientes: CMC Cerezuela, Farcinox, Feldbinder, Granalu, Grupo Guillén, Krone, Kogel, Lamberet, Leciñena, Parcisa; Lecitrailer, Schmitz Cargobull, etc.

Algunas fabrican todo tipo de semirremolques, como Leciñena, Lecitrailer o Schmitz Cargobull, mientras que otras están especializadas en algunos tipos específicos, como por ejemplo Lamberet, que fabrica sobre todo vehículos frigoríficos o cisternas, o

incluso hay otras especializadas en transportes especiales y grúas de gran tamaño, como la compañía Semirremolques Rojo.

El estudio que se ha realizado sobre los pesos de los semirremolques exige un análisis en profundidad, pues los fabricantes de semirremolques solamente suelen dar el dato de la tara del chasis del semirremolque limpio, debiendo añadirse luego el peso de la carrocería específica que se ponga en cada caso. Por otro lado, por ejemplo en las plataformas portacontenedores, la tara no incluye nunca el peso del contenedor.

A continuación se muestra la Tabla 21 con los principales tipos de usos o aplicaciones de los semirremolques y remolques, el rango de taras de los vehículos de cada uso y el nombre de las empresas fabricantes de las que se ha podido obtener datos.

Tabla 21. Diferentes tipos de carrocerías para semirremolques y remolques, y rangos de taras de cada una de ellas

Tipo de uso	Nº de modelos con datos	Taras (kg)	Empresas fabricantes
Bañera de obra	6	de 6.700 a 15.300	Lecitrailer, Meiller
Volquete basculante	6	de 3.950 a 8.300 (la mayoría está entre 5.000 y 6.000 kg)	Leciñena, Danima, Galtrailer
Cisterna	45	de 3.900 a 9.600 (la mayoría está en torno a 6.000)	Feldbinder ; Leciñena, Indox,
Frigorífico	11	de 4.100 a 9.750 (la mayoría está en el intervalo de 7.000 a 7.500)	Lamberet, Leciñena, Lecitrailer, Guillén, Schmitz
Furgón	4	7.130	Lecitrailer, Guillén
Lonas	13	de 5.300 a 7.129 (la mayoría en el entorno de los 6.500 kg)	Lecitrailer, Schmitz; Leciñena, Guillén
Plataforma	5	de 4.420 a 8.300 (la mayoría está entre 4.500 y 5.000)	Leciñena
Portacontenedor	17	de 3.080 a 8.480 (sin incluir el peso del contenedor). La mayoría está entre 4.500 y 5.000	Leciñena, Schmitz, Tomcisa, Feldbinder; Galtrailer, Trainar
Remolque	6	de 3.070 a 5.400 (la mayoría en torno a 4.000)	Leciñena, Schmitz

Como se puede ver en la Tabla 21, el peso de los semirremolques (incluyendo la carrocería) varía según los tipos de carga a los que vayan a ser destinados y existe un amplio abanico de taras, incluso dentro de un mismo tipo de carrocería o uso. Uno de los tipos en que existe más disparidad es el que figura primero en la Tabla 21, que son las *bañeras de obra*, donde existe una distribución bimodal, pues están por un lado las bañeras de acero cuya tara oscila entre 12.000 kg y 15.000 kg y, por otro, las bañeras de aluminio y de chapa de acero cuya tara está en el entorno de los 7.000kg. Otro de los tipos de carrocería que arroja un peso total mayor son los semirremolques frigoríficos, que incluyendo el equipo de frío tienen normalmente una tara de entre 7.000 kg y unos 7.500 kg, aunque puede superarse esta cifra.

La combinación de las taras de los camiones rígidos y cabezas tractoras, dadas por los fabricantes de los vehículos, con las taras de los semirremolques y remolques, según sus diferentes usos o utilizaciones, nos darán los intervalos de taras de los distintos tipos de vehículos nuevos.

Evidentemente, las cifras obtenidas por este procedimiento no se referirán al parque de vehículos actual, sino al parque de vehículos futuro. Teniendo en cuenta los datos proporcionados en las Tablas 20 y 21, para obtener las taras medias de cada tipo de vehículos que compondrán el parque dentro de unos 10 años, se deben hacer las siguientes suposiciones:

- Establecer una hipótesis de tasa de sustitución anual del parque de vehículos. Para ello se pueden tener en cuenta las cifras de antigüedad media de los vehículos que circulaban por la red de carreteras del Estado (RCE) en el momento de la realización de la campaña de pesaje dinámico 2000-2003, que eran las que se muestran en la Tabla 22, desglosadas según el tipo de vehículo pesado.

Tabla 22. Antigüedad de los vehículos en la campaña de pesaje del CEDEX realizada entre 2000 y 2003

Tipo de vehículo	Antigüedad media (años)	Desviación típica (años)
Camión rígido	8,4	5,7
Articulado	6,1	4,8
Tren de carretera	6,2	5,2

Como se puede ver en la Tabla 22, la antigüedad media de los vehículos de transporte del largo recorrido (articulados y trenes) es menor que la de los de corto recorrido (rígidos). Habría que tener en cuenta que los vehículos que circulan por la RCE son algo más nuevos que los que circulan por redes más locales o por vías urbanas. Aun así, considerando los valores medios de antigüedad y su dispersión (medidas por la desviación típica), se podría suponer

que en unos 20 años la mayor parte del parque (al menos un 90%) ya ha sido sustituido.

- No obstante lo anterior, se podría suponer que en los últimos 10 años las características de los vehículos nuevos ya han estado siendo bastante similares a las que proporcionan los fabricantes actuales, por lo que en un periodo de otros 10 años, la mayor parte del parque ya habrá adoptado las características de los vehículos nuevos que se están vendiendo actualmente.
- Por otro lado, se necesitaría conocer las proporciones de los distintos tipos de usos o carrocerías específicas en cada tipo de vehículo. Esto se podría obtener de las ventas de los fabricantes o de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera.

Teniendo en cuenta las anteriores hipótesis, así como los valores medios de las taras y sus dispersiones según los usos o carrocerías, que se muestran en las Tablas 20 y 21, se podría determinar la tara previsible de los distintos tipos de vehículos en un futuro próximo, que se concretarán en unos 10 años.

No obstante, como conclusión general, de la comparación de las taras de los vehículos nuevos dadas por los fabricantes con las del parque de vehículos existente (provenientes del Registro General de Vehículos), parece que puede deducirse que existe una tendencia a disminuir las taras medias de los vehículos pesados.

5.2.3.5 Comparación de las taras obtenidas en las diferentes bases de datos

Como resumen de lo que se acaba de exponer sobre las bases de datos de las taras de los vehículos y para que sirva de comparación de las cifras obtenidas en ellas, se ha elaborado la Tabla 23, en la que se muestran los valores medios de las taras (expresados en kN) de los distintos tipos de vehículos pesados, así como la dispersión de las taras en relación con los valores medios en cada caso.

No se ha considerado útil incluir en la tabla las taras de los fabricantes y carroceros de vehículos y elementos remolcados, debido a los amplios intervalos de variación de los valores medios y a que estos datos pueden considerarse sólo como una tendencia a lo que será el parque en años venideros.

A la vista de los datos de la Tabla 23 se pueden hacer los siguientes comentarios:

- No existe una coincidencia perfecta en cuanto a los tipos de vehículos sobre los que se proporcionan las taras medias en las distintas bases de datos. La principal diferencia está en que en el Registro General de Vehículos, por la forma en que se han suministrado los datos (tal como se ha comentado, clasificados en función de la MMA del vehículo o conjunto de vehículos), no ha sido posible dividir la clase de los vehículos articulados (cabeza tractora + semirremolque) en tipos más homogéneos según su número de ejes, mientras que para la clase de los trenes de carretera sólo

ha podido efectuarse una división en dos tipos diferentes de vehículos: la de los camiones rígidos de 2 ejes + remolque (2 o 3 ejes) y la de los camiones rígidos de 3 ejes + remolque (2 o 3 ejes). Afortunadamente, en estas clases de vehículos no existe una gran diferencia de taras entre los distintos tipos que las forman, por lo que la aproximación sigue siendo aceptable. Por otro lado, también faltan en la base de datos de la campaña de pesaje dinámico del CEDEX algunas clases de vehículos (por ejemplo, los camiones rígidos de más de 4 ejes), pero los tipos de los que no hay datos son muy poco frecuentes, por lo que esta ausencia tiene una importancia muy pequeña.

- Para casi todos los tipos de vehículos, los valores de la taras medias dados por la EPTMC de 2013 y del Registro General de Vehículos son algo mayores que los de la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 del CEDEX, excepto para los vehículos articulados, en que los valores de las taras medias dados por las tres bases de datos casi coinciden. Como estos vehículos son los más comunes, la diferencia total ponderada (por la proporción de cada tipo de vehículos en el tráfico o en el parque total) entre las tres bases de datos es pequeña.

Tabla 23. Taras medias y dispersiones de las taras para los distintos tipos de vehículos según la campaña de pesaje dinámico del CEDEX 2000-2003, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013 y el Registro General de Vehículos de 2017

Tipos de vehículos	Campaña CEDEX 2000-2003		Encuesta PTMC 2013		Registro General Vehículos 2017	
	Tara media (kN)	Coef. Var (%)	Tara media (kN)	Coef. Var (%)	Tara media (kN)	Coef. Var (%)
Camión 2 ejes	62,51	31,5	77,55	32,5	62,91	42,2
Camión 3 ejes	111,70	8,7	120,17	17,2	126,67	20,9
Camión 4 ejes	136,53	3,9	141,22	16,8	142,01	28,5
Camión más de 4 ejes			108,43	11,8		
Tractor 2 ejes + semirremolque 1 eje	133,79	7,0			146,03	24,7
Tractor 2 ejes + semirremolque 2 ejes	138,17	7,5	128,35	27,3		
Tractor 2 ejes + semirremolque 3 ejes	143,90	7,3	142,48	15,7		
Tractor 3 ejes + semirremolque 2 ejes	169,22	1,5	90,97	45,1		
Tractor 3 ejes + semirremolque 3 ejes			138,48	22,7		
Tractor + semirremolque: otras comb.			148,41	40,5		
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 1 eje			78,48	0,0	127,08	29,4
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 2 ejes	126,72	10,0	169,87	21,5		
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 3 ejes	129,36	10,3	173,73	22,6		
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 2 ejes	155,72	8,2	174,14	20,9		
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 3 eje	159,05	7,7	180,97	22,6		
Tren. Camión y remolque: otras comb.			164,36	24,3		

- La Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) da una tara media apreciablemente mayor para los camiones rígidos de 2 ejes, debido a que la EPTMC sólo incluye los camiones con capacidad de carga mayor de 3,5 t (34,3 kN) y una Masa Máxima Admitida (MMA) superior a 6 t, mientras que la campaña del CEDEX y el Registro General de Vehículos incluyen todos los vehículos de MMA mayor de 3,5 t, acorde con la definición de vehículo pesado en el Reglamento General de Vehículos.
- En lo relativo a las dispersiones de las taras respecto al valor medio, medidas a través del coeficiente de variación, se puede ver que los valores mínimos de dispersión, para todos los tipos de vehículos, son los de la campaña de pesaje del CEDEX, lo que puede ser debido a que los datos de esta campaña fueron tomados todos en la Red Estatal de Carreteras, con lo cual las características del tráfico y de los vehículos son más homogéneas que en las otras dos bases de datos. Así, la EPTMC incluye datos del transporte interurbano en cualquier red de carreteras, mientras que el Registro General de Vehículos incluye en cada categoría todos los vehículos del parque, por lo que abarca tanto los vehículos destinados al transporte urbano como al interurbano o incluso, vehículos pesados no destinados al transporte, como pueden ser camiones grúa, por lo que la variabilidad de las taras es mayor.
- Las mayores dispersiones de las taras, para los tipos de vehículos más comunes se dan en los camiones rígidos de 2 ejes, pues en esta categoría se incluyen vehículos muy diferentes, desde pequeños camiones de reparto hasta camiones bastante grandes.
- Para los vehículos más abundantes en carretera, los articulados tipo T2S3, es decir, los formados por una cabeza tractora de 2 ejes y un semirremolque de 3 ejes, las taras medias son muy parecidas en las tres fuentes de datos y también es más reducida su dispersión con respecto a las de los demás tipos de vehículo.

6 Resultados de los ensayos para la comprobación de los métodos de estimación desarrollados

6.1 Comprobación de la exactitud de la silueta obtenida automáticamente

6.1.1 Ensayos y descripción del procedimiento seguido para efectuar la comprobación

Una vez obtenida la silueta, el siguiente paso es comprobar la precisión del esquema de clasificación desarrollado. Para ello, no queda más remedio que obtener unos datos de contraste, es decir, de vehículos que hayan pasado sobre el sistema de pesaje, y de los cuales se conozca con total seguridad el tipo al que pertenecen. A este efecto, se han obtenido visualmente unos datos de contraste durante unas pocas horas mediante un proceso que se ha denominado “muestreo visual de vehículos”.

Con objeto de verificar la precisión de la muestra obtenida visualmente, se han realizado tomas de datos en dos emplazamientos diferentes de la red de carreteras del Estado: el primero, en la A-1, pk 41, a la altura de El Molar, y el segundo, en la A-2, pk 81, a la altura de Trijueque (Guadalajara). Hay que decir que la toma de datos en El Molar se utilizó no solo para comprobar la precisión del programa de clasificación, sino también para actualizar algunos parámetros utilizados en el programa, y que se habían fijado sobre la base de los datos obtenidos en la última campaña de pesaje dinámico realizada entre 2000 y 2003.

El muestreo visual de vehículos en la carretera se ha realizado mediante unos operarios que, durante un cierto periodo de tiempo, apuntan las características de cada uno de los vehículos muestreados (o más bien, para aumentar su capacidad de registro, las graban utilizando la voz, y luego, en gabinete, se pasa toda esa cantidad de datos al papel). Posteriormente, en la oficina, tomando como referencia la hora de paso de cada vehículo muestreado sobre el sensor, se identifica al vehículo en cuestión sobre el listado registrado automáticamente por el equipo de pesaje. Una vez localizado cada vehículo sobre el listado del ordenador, se añaden varias columnas más a ese listado automático para introducir manualmente las diferentes características tomadas visualmente (una columna por cada característica tomada visualmente). De esta forma, se obtiene un listado completo de la población total de vehículos registrados automáticamente (cada vehículo con todos sus datos aparece en una línea), algunos de los cuales aparecen con datos (columnas) adicionales, que han sido consignados manualmente y recogidos visualmente, entre las cuales se encuentra su clasificación visual, que podría considerarse como verdadera. Entonces, comparando la clase o el tipo del vehículo que aparece en la columna tomada visualmente (clasificación “verdadera”) con la que se muestra en la columna de clasificación obtenida automáticamente, se puede obtener la tasa de aciertos de la clasificación automática respecto a la real (visual).

Naturalmente, este proceso de comparación puede realizarse solamente con los vehículos en los cuales la casilla correspondiente a la columna de la clasificación en la muestra visual no está vacía, es decir, con los vehículos que han sido muestreados visualmente. Esta muestra que incluye todos los vehículos cuyas características han sido tomadas visualmente, se le denomina “Muestra visual”. La comparación de la clase tomada visualmente con la suministrada automáticamente por el equipo conjuntamente con el programa de clasificación desarrollado al efecto dará una tasa de coincidencia o tasa de acierto del citado programa de clasificación automático.

No obstante, aunque la tasa de acierto de la clasificación obtenida automáticamente con respecto a la recogida en la muestra visual total es el índice más directo de estimar la exactitud del procedimiento de clasificación desarrollado, existe otro índice intermedio que también pueden dar una idea de la precisión del programa de clasificación automática. El objeto de este índice es soslayar el problema (o más bien el “desafío”) de la clasificación incorrecta de los vehículos que circulan con algún eje levantado cuando van de vacío, circunstancia que los sistemas de pesaje dinámico no pueden detectar.

Durante la realización de las campañas de pesaje dinámico en la Red de Carreteras del Estado se comprobó que el número de vehículos pesados que circula con algún eje levantado no podía considerarse despreciable, pues mediante un estudio visual realizado al efecto se obtuvo que, en autovías, de todos de los vehículos que tenían la capacidad de llevar un eje elevado (por tanto, no se contaban, por ejemplo, los vehículos de 2 ejes), hasta un 15% los llevaban realmente levantados.

Teniendo en cuenta la anterior circunstancia, se podría comprobar el grado de precisión del programa de clasificación expuesto, eliminando de la comparación a todos los vehículos que circulan con los ejes levantados, pues su número de ejes nunca va poder ser detectado correctamente, con lo que se obtendría su “precisión primaria”, que será siempre igual o superior a su “precisión total”. Para poder calcular esta “precisión primaria” se elaboró una segunda muestra de comparación de la silueta, en la que se eliminaron todos los vehículos que circulaban con algún eje levantado, denominándola “muestra depurada”.

En consecuencia, la tasa de acierto del programa de clasificación automática sobre esta *muestra depurada* se podría tomar en principio como tasa de precisión primaria del programa de clasificación, mientras que la tasa o porcentaje de acierto del programa de clasificación sobre la muestra visual total será la precisión real o verdadera de clasificación.

No obstante, aunque podría haberse empleado la tasa de acierto primaria del programa de clasificación, **se ha preferido determinar la precisión sobre la muestra visual total**, es decir, la que incluye todos los vehículos aunque lleven algún eje levantado, pues es ésta la que da una idea de la verdadera tasa de acierto del programa de clasificación con vistas a la estimación de las cargas transportadas por los vehículos, objetivo final para el que fue realizado el programa. Por el contrario, si se hubiera realizado el programa para estimar las cargas del tráfico sobre el pavimento, podría haberse eliminado de la comparación a los vehículos que circulaban con ejes levantados, pues estos ejes no suponen una carga para el firme.

6.1.2 Resultados de precisión de la clasificación obtenidos en El Molar (A-1, pk. 41)

En la Tabla 24 que se muestra a continuación se pueden ver los resultados de la comparación realizada entre la clasificación realizada por el equipo de pesaje junto con el programa de clasificación desarrollado en Excel (columna “Aforo”) y la clasificación tomada visualmente (columna “Muestra real visual”) por operarios del CEDEX, que puede considerarse como la clasificación real, en una toma de datos de tres días de duración realizada en la autopista A-1, pk 41, a la altura de el Molar (Madrid).

Tabla 24. Resultados de comparación de la clasificación visual con la automática en el ensayo de El Molar

MUESTRA Estación El Molar del año 2014. Silueta obtenida con las condiciones de El Molar						MUESTRA REAL VISUAL	vehes sin ejes elevados	Error Abso.	Error Abso. Valor	Error Relat. Abso.	vehes con ejes elevs
Muestra depurada											
CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS POR PESO EN BÁSCULA (Ligeros<=3,5 t y pesados >3,5 t)											
TIPO	SILUETA OBTENIDA POR ELABORACION EXCEL	Descripción	Aforo	(%)	Distribución de los vehículos pesados en %						
PMA<=3,5 t	1	Motos y ligeros									
	2	Agrícolas	-	-							
PMA>3,5 t	3	Rígidos 2 ejes	216	17,0	17,4	249	249	-33	33	13,3	
	4	Rígidos 3 ejes	74	5,8	6,0	76	60	-2	2	2,6	16
	5	Rígidos 3 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	6	Rígidos 4 ejes	8	0,6	0,6	8	8	0	0	0,0	0
	7	Articulados 3 ejes	1	0,1	0,1	1	1	0	0	0,0	
	8	Articulados 4 ejes	23	1,8	1,9	20	19	3	3	15,0	1
	9	Articulados 5 ejes	799	62,8	64,5	806	684	-7	7	0,9	122
	10	Articulados 5 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	11	Articulados 6 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	12	123-124-127	33	2,6	2,7	33	33	0	0	0,0	0
	13	1222	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
	14	125-126-128	6	0,5	0,5	5	5	1	1	20,0	0
	15	1224-1227	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	16	1422-1722	5	0,4	0,4	5	4	0	0	0,0	1
	17	144-174	11	0,9	0,9	10	9	1	1	10,0	1
	18	145-146-148	3	0,2	0,2	3	3	0	0	0,0	0
	19	1424-1724	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	20	Bus de 2 ejes	31	2,4	2,5	28	28	3	3	10,7	
	21	Bus de 3 ejes	29	2,3	2,3	29	29	0	0	0,0	
Vehículos pesados (Peso en báscula>3,5 t)			1239	97,3	100	1273		-34	50	3,93	-2,67
Población total de vehículos (Ligeros+pesados)			1273	97		1273		0	50	3,93	
Vehículos largos (longitud>6 m)			1273	100,0							
Vehículos cortos (longitud<=6 m)			0	0,0							
Población total de vehículos (cortos+largos)			1273	100							
Con condiciones de El Molar											
Muestra real visual=vehes con ejes ele+vehes sin ejes el.											
Aforo=Resultado excel de la aplicación del programa											

Como se puede ver en la Tabla 24, la comparación efectuada arroja unos resultados bastante satisfactorios en cuanto a la precisión del procedimiento automático de clasificación desarrollado, pues de los 1.273 vehículos que circularon sobre el sistema de pesaje, solamente 50 vehículos fueron clasificados erróneamente, resultando un error relativo total es del 3,9 %.

Hay que señalar que en la práctica el error total de clasificación fue algo menor, pues los vehículos clasificados erróneamente en unos tipos se compensaban parcialmente con los mal clasificados en otros tipos. Esto ocurre, por ejemplo, si un camión de 2 ejes es clasificado erróneamente como autobús de 2 ejes, y luego otro autobús de 2 ejes es clasificado equivocadamente como camión de 2 ejes, pues ambos errores se compensan, resultando un error “ficticio” de clasificación nulo, cuando en realidad ha

habido dos vehículos clasificados en un tipo incorrecto. Así, en toma de datos de El Molar resultó un error total de sólo 34 vehículos mal clasificados, aunque se ha preferido utilizar la cifra de 50, pues es más estable, por no depender de la “suerte” en las posibles compensaciones de errores.

No obstante, se puede comprobar que el porcentaje de error no ha sido similar en todos los tipos de vehículos. Así, por ejemplo, en los camiones rígidos de 2 ejes, la proporción de error ha sido de un 13%, lo que podría arrojar unos resultados globales diferentes en otras estaciones donde predomine este tipo de vehículos.

El examen detallado de los errores de clasificación en el Molar permitió afinar algunos de los umbrales fijados para las condiciones de clasificación de algunos tipos de vehículos, constituyendo lo que se denominaron las “Condiciones de clasificación de El Molar”, que fueron las que se utilizaron en el ensayo realizado en la A-2 a la altura de Trijueque.

6.1.3 Resultados de precisión de la clasificación obtenidos en Trijueque (A-2, pk. 82)

Se realizó una segunda comprobación del procedimiento de clasificación desarrollado mediante la toma de datos de clasificación (así como de pesos) realizada en la estación de Trijueque, junto a la báscula estática de pesaje del Ministerio de Fomento, situada en la autopista A-2, pk. 82.

La toma de datos visual fue de una fiabilidad total, pues se tomaron fotografías de todos y cada uno de los más de 600 vehículos pesados muestreados.

Primeramente se van a mostrar unas cifras descriptivas de la composición de la muestra amplia de más de 600 vehículos pesados a través de la Tabla 25 obtenida de la clasificación de los vehículos de ésta. En una de las columnas (“Vehículos muestreados clasificados visualmente”) aparecen los datos de la composición real, obtenida mediante la observación por operarios de los vehículos de la muestra en la carretera y de las fotos tomadas de cada uno de ellos, mientras que en otra columna aparece la clasificación obtenida automáticamente por el sistema de pesaje dinámico, mediante un programa de clasificación (“Vehículos clasificados con Excel”). La comparación de los datos de ambas columnas, proporciona una idea de la precisión de la clasificación automática.

Tabla 25. Resultados de comparación de la clasificación visual con la automática en la estación de Trijueque (A-2, pk 82)

MUESTRA de PESADOS TRIJUEQUE. Silueta obtenida con las condiciones EL MOLAR con ajuste julio 2015						Vehículos muestreados clasificados visualmente (b)=(c)-(d)	Vehículos sin ejes elevados (c)	Error Abso. (a)-(b)	Error abs. en valor absoluto (a)-(b)	Error relativo en % (a)-(b) /(b)*100	Vehículos con ejes elevados (d)	
Carretera A-2 p.k. 82 Fecha JUNIO 2015 Hora												
Comparación entre la clasificación de una muestra visual de vehs. PESADOS y la misma hecha con Excel												
TIPO	SILUETA OBTENIDA POR ELABORACION EXCEL	Descripción	Vehículos clasificados con Excel (a)	(%)	Distribución de los vehículos pesados en %							
Vehículos pesados (Peso en báscula>3,5 t) PMA>3,5 t	1											
	2		Rígidos 2 ejes	51	7,9	7,9	53	53	-2	2	3,8	
	3		Rígidos 3 ejes	16	2,5	2,5	16	8	0	0	0,0	8
	4		Rígidos 3 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	5		Rígidos 4 ejes	1	0,2	0,2	1	1	0	0	0,0	0
	6		Articulados 3 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
	7		Articulados 4 ejes	10	1,6	1,6	0	0	10	10	0,0	0
	8		Articulados 5 ejes	532	82,9	82,9	536	494	-4	4	0,7	42
	9		Articulados 5 ejes	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	10		Articulados 6 ejes	0	0,0	0,0	1	1	-1	1	100,0	0
	11		123-124-127	21	3,3	3,3	25	25	-4	4	16,0	0
	12		1222	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
	13		125-126-128	1	0,2	0,2	2	2	-1	1	50,0	0
	14		1224-1227	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	15		1422-1722	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	16		144-174	0	0,0	0,0	1	0	-1	1	100,0	1
	17		145-146-148	3	0,5	0,5	2	2	1	1	50,0	0
	18		1424-1724	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	19		Bus de 2 ejes	6	0,9	0,9	4	4	2	2	50,0	
	20		Bus de 3 ejes	1	0,2	0,2	1	1	0	0	0,0	
Vehículos pesados clasificados con condiciones EL MOLAR (Peso báscula>3,5 t)			633	98,6	98,6	642		-9	26	4,05	-1,4	
Vehículos pesados clasificados de forma forzada (Peso en báscula >3,5 t)			9	1,4	1,4							
Vehículos pesados clasificados totales (Peso en báscula>3,5 t)			642	###	100							
Vehículos pesados TOTALES			642	100		642		0	26	4,05		

RUTA: Compartida/Plantillas/Plantillas con ajuste julio 2015 (condiciones El Molar)/Plantilla silueta Muestra condiciones EL MOLAR con ajustes julio 2015 (para 5000 veh)/juanio.xls

RUTA: Compartida/Plantillas/Plantillas con ajuste julio 2015 (condiciones El Molar)/Plantilla silueta Muestra condiciones EL MOLAR con ajustes julio 2015 (para 5000 veh)Juanjo.xls

Como se puede ver en la Tabla 25, la muestra estaba formada por 642 vehículos pesados, de los cuales la mayor parte (más del 80%) fueron vehículos articulados de 5 ejes (cabeza tractora de 2 ejes + semirremolque de eje tridem).

En total resultaron clasificados erróneamente 26 vehículos de los 642 registrados, aunque debido a compensaciones parciales de los errores en los distintos tipos de vehículos, se puede decir que el error total en toda la muestra fue sólo de 9 vehículos. No obstante, al igual que en El Molar, se ha tomado la cifra de 26 vehículos como la indicativa del error absoluto de clasificación, que se traduce en un error relativo de clasificación automática de un 4,05 %, que como puede comprobarse, es muy cercano al obtenido en El Molar, lo que probaría la estabilidad del método de clasificación automática desarrollado, además de su alta exactitud.

6.2 Comprobación del método de determinación automática de las cargas transportadas por los vehículos pesados mediante pesaje dinámico

6.2.1 Ensayo de comprobación del método

Para comprobar la exactitud y precisión del método de cálculo automático del peso de las cargas transportadas cuyos fundamentos se han explicado en el Capítulo 5, se ha llevado a cabo el ensayo en la autopista A-2 que une Madrid y Barcelona, a la altura del municipio de Trijueque (Guadalajara), que se ha comentado anteriormente en la comprobación de la clasificación automática de vehículos. En lo relativo a la comprobación de las cargas transportadas, la principal novedad de este ensayo ha consistido en desviar una serie de vehículos pesados, que previamente habían circulado sobre el sistema de pesaje dinámico a su velocidad de recorrido, hacia una báscula de pesaje estático, con objeto de contrastar los pesos suministrados por el sistema de pesaje dinámico con los pesos dados por la báscula estática, que se pueden considerar como reales, y donde asimismo se anotó la tara y MMA (masa máxima admitida) de cada uno de los vehículos desviados.

Así, en la semana del 15 al 19 de junio de 2015 se instaló un sistema de pesaje dinámico de tipo capacitivo portátil en el carril derecho de la calzada sentido Madrid, km 82, de la autovía A-2, aproximadamente unos 500 m antes de donde se encuentra una báscula de pesaje estático del Ministerio de Fomento, en un área situada junto a la autovía, que es utilizada frecuentemente por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil para efectuar controles de pesaje dirigidos a vigilar el cumplimiento de las normas en esta materia.

La calibración del sistema de pesaje dinámico se realizó simultáneamente a la toma de datos, pasando un cierto número de veces un camión de 2 ejes de peso conocido (181,09 kN) sobre el sensor de peso del sistema WIM, a una velocidad próxima a la media de los vehículos pesados en la autopista (entre 80 y 90 km/h).

Posteriormente, con el objetivo de obtener datos de referencia para comprobar los pesos de las cargas transportadas, se tomaron dos muestras de vehículos:

1. Una pequeña muestra de unos 30 vehículos pesados (que se designará como **“muestra reducida”**). Para tomar esta muestra, se trabajó conjuntamente con la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil para seleccionar a los vehículos que, tras pasar sobre el sistema de pesaje dinámico a su velocidad usual de circulación (anotándose su hora de paso y el peso bruto dado por el sistema de pesaje dinámico), después se les desvió para su pesaje estático en la báscula situada unos 500 m más allá, donde asimismo se anotaron los datos de su matrícula y de su tara y masa máxima admitida, con objeto proceder a su comparación con los suministrados automáticamente por el sistema de pesaje dinámico y el método aproximado propuesto.
2. Una muestra más grande de más de 600 vehículos (que se designará como **“muestra amplia”**) de camiones que pasaron sobre el sistema de pesaje

dinámico, anotando la hora de paso de cada uno de ellos, con objeto de identificar sus pesos en el listado del equipo, al mismo tiempo que se tomaban fotografías de estos vehículos con objeto de identificar su matrícula (a efectos de poder determinar su tara a través del registro de vehículos de la Dirección General de Tráfico) y el tipo de vehículo de que se trataba. Asimismo, se realizó simultáneamente, durante 4 horas, un aforo manual, con el propósito de verificar el ajuste del programa de clasificación automática de vehículos desarrollado igualmente por el Área de Tráfico y Seguridad Vial del CEDEX.

6.2.2 Cálculo de la exactitud y precisión del sistema de pesaje dinámico utilizado

Respecto de los vehículos de la “muestra reducida”, que fueron desviados para su pesaje estático por los agentes de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, se obtuvieron los siguientes datos y cálculos inmediatos, que sirven de base primeramente para la evaluación de la precisión del sistema de pesaje dinámico en el emplazamiento:

- 1- Peso estático real (Pest) proporcionado por la báscula de pesaje estático para cada uno de los vehículos de la muestra.
- 2- Peso dinámico calibrado (Pdin) suministrado por el equipo de pesaje dinámico para cada uno de los vehículos.

Una vez obtenidos o determinados los anteriores datos de los vehículos pesados, se han realizado los siguientes cálculos para determinar el sesgo y la dispersión de las medidas de los pesos proporcionadas por el sistema de pesaje dinámico:

1. Cálculo del error relativo (positivo o negativo), en porcentaje, para cada vehículo en la determinación de su peso bruto total, a través de dividir el error absoluto por el peso estático de cada vehículo. En la columna de más a la derecha de la Tabla 26 se muestran los valores del error relativo incurrido en el pesaje dinámico de cada vehículo.

$$\text{Error absoluto (kN)} = P_{\text{din}} - P_{\text{est}}$$

$$\text{Error relativo (\%)} = [(P_{\text{din}} - P_{\text{est}}) / P_{\text{est}}] \cdot 100$$

2. Determinación del **valor medio** de todos los errores relativos obtenidos para cada vehículo individual, obteniéndose el llamado **error relativo medio** del pesaje dinámico para el conjunto de vehículos de la muestra, que representa el **sesgo medio (%)** del sistema de pesaje dinámico.

Teóricamente, este sesgo medio debería poder eliminarse mediante una adecuada calibración del equipo de pesaje dinámico, pero en la práctica es bastante difícil eliminarlo completamente. Así, en este ensayo, el valor

promedio de todos los errores relativos ha resultado ser del 6,35%, valor que puede ser considerado como bastante mediocre.

Este alto sesgo puede ser debido a que la calibración se ha realizado utilizando un solo vehículo (en este caso un camión rígido tarado de 2 ejes), como suele normal en los equipos portátiles de pesaje, utilizados para tomas de datos de corta duración, mientras que los vehículos pesados predominantes en el emplazamiento son de tipo articulado, cuyas características dinámicas y de suspensión son bastante diferentes.

3. Determinación de la **desviación típica de los errores relativos** obtenidos para cada vehículo, que representa la precisión teórica del sistema de pesaje, valor que normalmente es inherente al equipo, aunque en un emplazamiento determinado depende también de las características superficiales y estructurales del firme en el que esté instalado el equipo.

El valor obtenido para la desviación típica porcentual ha sido del 8,41 %, que, al contrario que el valor obtenido para el sesgo medio, puede considerarse bastante bueno, pues es algo inferior al obtenido en el ensayo de referencia de sistemas portátiles de pesaje en movimiento realizado en Trappes (Francia) en 1996 (Blab et al., 1998) [16], lo que puede ser debido a que las condiciones del pavimento en el emplazamiento del ensayo eran muy buenas.

Esta cifra de desviación típica porcentual indica que si el sistema estuviera correctamente calibrado (sesgo próximo a cero) el equipo podría clasificarse dentro de la clase D (20) de precisión, de acuerdo con las Especificaciones Europeas del Pesaje en Movimiento del COST 323 [12] .

Tabla 26. Errores relativos del sistema de pesaje dinámico obtenidos en el experimento

Veh n°	Matrícula	Tipo de vehíc	Peso estático (kN)	Peso dinámico (kN)	Error relativo (%)
1	68XX HGP	T2S3	378,37	362,97	-4,07
2	28XX HMP	T2S3	415,01	411,04	-0,96
3	53-BH-XX	T2S3	281,55	301,17	6,97
4	99XX HZJ	T2S3	237,16	255,06	7,55
5	84XX JBV	T2S3	341,83	337,46	-1,28
6	43XX HHD	T2S3	326,72	337,46	3,29
7	66XX CSG	C2	113,35	135,38	19,43
8	M-01XX-TK	C2	48,46	51,99	7,29
9	06XX CJL	T2S3	320,79	305,09	-4,89
10	34XX HLP	T2S3	219,20	244,27	11,43
11	68XX BWJ	C2	110,56	129,49	17,13
12	90XX HBC	T2S3	192,82	230,54	19,56
13	11XX CDH	T2S3	394,56	412,02	4,43
14	54XX FCS	T2S3	418,64	376,70	-10,02
15	70XX FFY	C2R2	305,68	309,02	1,09
16	36XX HNY	T2S3	388,82	383,57	-1,35
17	04XX HZF	T2S3	292,83	330,60	12,90
18	CO-55XX-AS	T2S3	414,42	393,38	-5,08
19	31XX FJM	T2S3	239,81	254,08	5,95
20	81XX DDG	C2	122,33	142,25	16,28
21	89XX DYV	C3	256,29	266,83	4,11
22	90XXGRD	T2S3	314,07	318,83	1,51
23	08XX HXK	T2S3	307,84	317,84	3,25
24	16XX FYK	C2	143,81	164,81	14,60
25	20XX ZJO	T2S3	394,75	412,02	4,37
26	02XX FFG	T2S3	403,58	411,04	1,85
27	22XX HZT	T2S3	408,05	426,74	4,58
28	93XX FSJ	T2S3	250,30	312,94	25,02
29	23XX FVV	T2S3	403,83	464,01	14,90
30	82XX HBK	T2S3	229,85	254,08	10,54
					Error rel. medio
					6,35
					Desv. Típica
					8,41

6.2.3 Planteamiento general de la comprobación del método de estimación de la carga transportada

Tal como se ha descrito en el apartado 6.2.1, dedicado al desarrollo del ensayo realizado en la A-2 en Trijueque, la comprobación del método de determinación automática de las cargas transportadas se ha basado en la toma de datos de dos muestras diferentes de vehículos:

- 1- Una **pequeña muestra de unos 30 vehículos pesados (“muestra reducida”)**, pesados estáticamente en un puente-báscula situado junto a la autopista.

- 2- Una **muestra más amplia de más de 600 vehículos pesados (“Muestra amplia”)**, que fueron fotografiados para identificar su número de matrícula.

Con respecto a la muestra reducida, en la que 30 vehículos fueron pesados estáticamente, se podido determinar su peso dinámico suministrado por el sistema, así como su peso estático proporcionado por el puente-báscula y, además, fue anotada su tara (en los vehículos articulados, tanto la tara de su cabeza tractora como del remolque o semirremolque) por los miembros de la Guardia Civil que manejaban la báscula estática a través de los datos que figuraban en la Ficha Técnica del vehículo.

De esta manera, respecto de los vehículos de esta primera muestra, se han podido obtener los siguientes resultados:

- la “carga real transportada” por ellos, restando el peso estático total menos la tara real, obtenida de la Ficha Técnica,
- la “carga dinámica real transportada”, restando el peso dinámico obtenido por el sistema de pesaje en movimiento menos la tara real extraída de la Ficha Técnica,
- la “carga dinámica estimada transportada”, restando el peso dinámico total suministrado por el sistema de pesaje dinámico menos la tara estimada según el tipo de vehículo en el que pudiera ser clasificado.

Por tanto, gracias a que se han podido conocer los anteriores resultados, con respecto a la muestra reducida se podrá obtener tanto el error total del procedimiento de determinación de la carga transportada, a través de la comparación entre la “carga dinámica estimada transportada” con la “carga real transportada”, como el error debido solamente a las simplificaciones del método, es decir, descontando la componente del error debido a la exactitud del sistema de pesaje dinámico

Sin embargo, sobre la muestra amplia de vehículos fotografiados, no es posible conocer el peso estático total de cada vehículo, por no haber sido pesados estáticamente, pero a través de las matrículas fotografiadas sí que se ha podido determinar las taras. La razón de que se tomaran fotografías para identificar las matrículas en vez de anotarlas visualmente según pasaban los camiones está en que en los vehículos articulados y trenes de carretera se debe anotar tanto la matrícula del vehículo tractor como la del semirremolque o remolque: Esta última matrícula tiene los números en color negro sobre fondo de color rojo, lo que hace que sea muy difícil distinguir los números visualmente cuando pasa el vehículo a la velocidad normal de recorrido. Ambas matrículas de cada vehículo fueron enviadas a la Dirección General de Tráfico, con objeto de que localizar los datos de las taras en el Registro General de Vehículos.

En consecuencia, de los vehículos de esta segunda muestra no se ha podido conocer el peso de la “carga real transportada”, al faltar el dato del peso bruto real (estático) del vehículo, pero sí que se han podido determinar las otras dos cargas:

- la “carga dinámica real transportada”, a través de restar el peso dinámico obtenido por el sistema de pesaje en movimiento menos la tara, también real, obtenida del Registro General de Vehículos, y

- la “carga dinámica estimada transportada”, restando el peso dinámico total proporcionado por el sistema de pesaje menos la tara estimada según el tipo de vehículo en el que pudiera ser clasificado, ya sea de manera visual o automática (mediante el sistema de pesaje dinámico) .

Por tanto, respecto de la muestra amplia, no podrá obtenerse el error total del procedimiento, al faltar el dato del peso real (estático) de cada vehículo y no poder calcularse la “carga real transportada”, pero en cambio sí que podrá obtenerse la componente del error debida a las simplificaciones del método, y eso sí, con una fiabilidad mayor, al estar basada en los datos de una muestra de más de 600 vehículos.

6.2.4 Estudio de comprobación del método realizado con la muestra reducida

6.2.4.1 Datos y cálculos previos realizados para la comprobación

Además de los datos descritos en el apartado 6.2.2, para la comprobación de la exactitud y precisión del sistema de pesaje dinámico, se obtuvieron también otros datos de los vehículos de la muestra reducida que fueron desviados para su pesaje estático por la Guardia Civil, que sirven de base para la comprobación del método aproximado propuesto para la determinación automática del peso de la carga transportada. Estos datos son:

- 1- Anotación por parte del personal del CEDEX de la clasificación real (tipo de vehículo) de cada uno de los camiones que pasaba por encima del sensor de pesaje dinámico y luego era desviado para su peso estático.
- 2- Anotación por parte de la guardia Civil de la tara y masa máxima admitida (MMA) de cada uno de los vehículos que fueron pesados estáticamente.
- 3- Anotación por parte del personal del CEDEX del tipo de vehículo (real) en que podía ser clasificado cada uno de los camiones de la muestra que pasaron primeramente sobre el sistema de pesaje dinámico.

En la Tabla 27 se muestran todos los datos iniciales, incluyendo el número de secuencia de peso de cada vehículo de la muestra, su matrícula (con los dos últimos dígitos numéricos codificados), la hora de paso sobre el sistema de pesaje dinámico, el tipo de vehículo tomado visualmente, el peso estático proporcionado por la báscula fija, el peso dinámico (ya corregido con el factor de calibración) suministrado por el equipo de pesaje dinámico y la tara real anotada por la Guardia Civil al realizar los pesajes estáticos.

Posteriormente, con objeto de realizar la comprobación del método, entre otros datos, se comparará este tipo de vehículo tomado visualmente con el tipo de vehículo clasificado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico y la tara real anotada con la tara asignada según el tipo de vehículo registrado por el sistema.

Tabla 27. Tabla de datos iniciales del ensayo de Trijueque: tipo real de vehículo, pesos estático, dinámico y tara registrada visualmente de cada uno de los vehículos de la muestra reducida.

Veh n°	Matrícula	Hora	Tipo de vehículo	Peso estático (kN)	Peso dinámico (kN)	Tara real anotada (kN)
1	68XX HGP	10:06:18	T2S3	378,37	362,97	155,98
2	28XX HMP	10:24:11	T2S3	415,01	411,04	165,67
3	53-BH-XX	10:25:30	T2S3	281,55	301,17	121,64
4	99XX HZJ	10:54:08	T2S3	237,16	255,06	162,86
5	84XX JBV	10:57:32	T2S3	341,83	337,46	168,05
6	43XX HHD	11:25:42	T2S3	326,72	337,46	160,88
7	66XX CSG	11:35:16	C2	113,35	135,38	96,48
8	M-01XX-TK	11:53:12	C2	48,46	51,99	42,48
9	06XX CJL	12:08:59	T2S3	320,79	305,09	152,64
10	34XX HLP	12:15:55	T2S3	219,20	244,27	169,80
11	68XX BWJ	12:26:01	C2	110,56	129,49	93,20
12	90XX HBC	12:41:11	T2S3	192,82	230,54	154,31
13	11XX CDH	12:49:54	T2S3	394,56	412,02	125,67
14	54XX FCS	10:24:30	T2S3	418,64	376,70	165,79
15	70XX FFY	10:38:00	C2R2	305,68	309,02	183,84
16	36XX HNY	10:51:19	T2S3	388,82	383,57	157,30
17	04XX HZF	10:54:49	T2S3	292,83	330,60	135,32
18	CO-55XX-AS	11:00:21	T2S3	414,42	393,38	142,24
19	31XX FJM	11:13:59	T2S3	239,81	254,08	160,32
20	81XX DDG	11:14:58	C2	122,33	142,25	109,77
21	89XX DYV	11:24:05	C3	256,29	266,83	104,57
22	90XXGRD	11:38:15	T2S3	314,07	318,83	137,14
23	08XX HXK	11:43:38	T2S3	307,84	317,84	160,15
24	16XX FYK	11:53:14	C2	143,81	164,81	82,89
25	20XX ZJO	12:03:36	T2S3	394,75	412,02	142,88
26	02XX FFG	12:19:03	T2S3	403,58	411,04	121,74
27	22XX HZT	12:35:12	T2S3	408,05	426,74	165,19
28	93XX FSJ	12:38:01	T2S3	250,30	312,94	141,07
29	23XX FVV	13:01:53	T2S3	403,83	464,01	134,40
30	82XX HBK	13:17:58	T2S3	229,85	254,08	135,03
Leyenda.						
C2	Camión rígido de 2 ejes					
C3	Camión rígido de 3 ejes					
T2S2	Tractor de 2 ejes + semirremolque de 2 ejes					
T2S3	Tractor de 2 ejes + semirremolque de 3 ejes					
C2R2	Camión rígido de 2 ejes + remolque de 2 ejes					

6.2.4.2 Cálculos realizados con la muestra reducida para la estimación de las cargas transportadas

De acuerdo con el método desarrollado, la estimación de las cargas transportadas por los vehículos pesados se basa en restar del peso dinámico proporcionado por el sistema WIM para un cierto vehículo una tara correspondiente a la tara media del tipo en que puede ser clasificado el vehículo.

Por ello, el primer paso de este cálculo consistirá en presentar los valores para las taras medias de cada tipo vehículo pesado, de acuerdo con diferentes fuentes de datos.

6.2.4.2.1 Propuesta de taras medias para cada tipo de vehículo pesado

Para asignar una tara a cada vehículo pesado registrado por el sistema de pesaje, se ha acudido a cada una de las fuentes o bases de datos de las características de los

vehículos pesados que se han descrito en el apartado 5.2.3, y que se citan a continuación:

- Taras recogidas visualmente en la campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX en la RCE entre los años 2000 y 2003.
- Taras obtenidas de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC). Se dispone de los datos de la Encuesta más reciente (2013) en el momento de llevar a cabo el ensayo de Trijueque (2015).
- Las taras de cada vehículo en el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico, del año 2017.

Los datos de las taras medias de cada tipo de vehículo pesado **que se han introducido en los cálculos**, así como de su dispersión respecto a los valores promedio, se han proporcionado en la **Tabla 23** del apartado 5.2.3.5.

Tal como se ha comentado en el apartado 5.2.3, a la hora de realizar los cálculos se optó por considerar en primer lugar las taras de la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 del CEDEX, pues era la única de la que se disponía en el momento de realizar el ensayo y, además, porque se consideraba que sus datos eran los más fiables, pues se participó en su elaboración al realizar la campaña de pesaje. Poco tiempo después se recibieron los datos de la EPTMC del año 2013, por lo que fue la segunda en ser considerada.

Por otro lado, se pensaba en un primer momento que era más conveniente emplear estas dos bases de datos de taras fundamentalmente porque reflejan más fielmente la composición real del tráfico pesado en la carretera, ya que la base de datos del Registro General de Vehículos se refiere al parque total de vehículos existentes, pero no a su participación porcentual en el tráfico de la carretera. De hecho, muchos de los vehículos presentes en el Registro General de Vehículos apenas circulan por carretera, por ser muy antiguos o por estar dedicados al transporte urbano.

Por otro lado, los datos del Registro General de Vehículos no han sido recibidos en su totalidad hasta enero de 2018, por lo que han sido los últimos en ser considerados para los cálculos.

Por la influencia de los valores proporcionados en la Tabla 23 en la precisión de los cálculos del procedimiento de estimación del peso de la carga transportada por los vehículos pesados, conviene hacer unos breves comentarios, algunos de los cuales son repetición de los ya expresados en el apartado 5.2.3.5, que clarifiquen la situación:

- El valor de la tara media para los camiones rígidos de 2 ejes dado en la EPTMC 2013 es bastante mayor que el dado en las otras dos bases de datos, lo que se debe a que la EPTMC sólo incluye los camiones con capacidad de carga mayor de 3,5 t (34,3 kN) y una Masa Máxima Admitida superior a 6 t, mientras que la campaña del CEDEX y el Registro General de Vehículos incluyen todos los vehículos de MMA mayor de 3,5 t, acorde con la definición implícita de vehículo pesado en el Reglamento General de Conductores.

- Las mayores dispersiones de la taras, para los tipos de vehículos más comunes se dan en los camiones rígidos de 2 ejes, pues en esta categoría se incluyen vehículos muy diferentes, desde pequeños camiones de reparto hasta camiones bastante grandes, como camiones grúa. Esta mayor dispersión de las taras en este tipo de vehículo implica que la tara asignada a cada vehículo rígido de 2 ejes es más incierta, por lo que el error que se comete al determinar la carga transportada puede ser mayor.
- Para los vehículos más abundantes en carretera, los articulados tipo T2S3, es decir, los formados por una cabeza tractora de 2 ejes y un semirremolque de 3 ejes, las taras medias son muy parecidas en las tres fuentes y también bastante reducida su dispersión, lo que asegura que la exactitud en la determinación de las cargas transportadas por este tipo de vehículos será mayor.

6.2.4.2.2 *Cálculos para la determinación de la carga transportada por cada vehículo*

Una vez escogidas las bases de datos de taras medias, se deben realizar una serie de cálculos para determinar el peso de la carga transportada, con vistas a su comparación con los valores reales:

- 1 Determinación del peso real de la carga transportada por los vehículos de la muestra. Este peso se determina efectuando la resta de la tara real ("Tara") del vehículo respecto del peso estático ("Pest") de éste.

$$\text{Peso real de la carga (kN)} = \text{Pest} - \text{Tara}$$

Este valor es el que servirá de referencia para calcular el ajuste y precisión del método que se pretende desarrollar.

- 2 Determinación del peso dinámico real de la carga transportada por los vehículos muestreados. La sustracción de la tara real del vehículo respecto del peso dinámico ("Pdin") de éste suministrado por el sistema de pesaje dinámico nos dará el valor de lo que se designará como "peso dinámico real de la carga transportada" por los vehículos pesados.

$$\text{Peso dinámico real de la carga (kN)} = \text{Pdin} - \text{Tara}$$

En las dos columnas de más a la derecha de la Tabla 28 se muestran los valores obtenidos para las anteriores variables para cada uno de los vehículos de los vehículos pesados estáticamente.

Tabla 28. Valores del “Peso real de la carga transportada” (Carga real = Peso estático – Tara) y del “Peso dinámico real de la carga transportada” (Peso dinámico -Tara).

Veh n°	Tipo de vehículo	Peso estático (kN)	Peso dinámico (kN)	Tara real anotada (kN)	Pdin - Tara (kN)	Carga real = Pest-Tara (kN)
1	T2S3	378,37	362,97	155,98	206,99	222,39
2	T2S3	415,01	411,04	165,67	245,37	249,34
3	T2S3	281,55	301,17	121,64	179,52	159,90
4	T2S3	237,16	255,06	162,86	92,20	74,30
5	T2S3	341,83	337,46	168,05	169,42	173,78
6	T2S3	326,72	337,46	160,88	176,58	165,84
7	C2	113,35	135,38	96,48	38,90	16,87
8	C2	48,46	51,99	42,48	9,52	5,98
9	T2S3	320,79	305,09	152,64	152,45	168,14
10	T2S3	219,20	244,27	169,80	74,47	49,40
11	C2	110,56	129,49	93,20	36,30	17,36
12	T2S3	192,82	230,54	154,31	76,22	38,50
13	T2S3	394,56	412,02	125,67	286,35	268,89
14	T2S3	418,64	376,70	165,79	210,92	252,85
15	C2R2	305,68	309,02	183,84	125,18	121,84
16	T2S3	388,82	383,57	157,30	226,27	231,52
17	T2S3	292,83	330,60	135,32	195,28	157,51
18	T2S3	414,42	393,38	142,24	251,15	272,19
19	T2S3	239,81	254,08	160,32	93,76	79,49
20	C2	122,33	142,25	109,77	32,47	12,56
21	C3	256,29	266,83	104,57	162,26	151,71
22	T2S3	314,07	318,83	137,14	181,68	176,92
23	T2S3	307,84	317,84	160,15	157,70	147,69
24	C2	143,81	164,81	82,89	81,91	60,92
25	T2S3	394,75	412,02	142,88	269,14	251,87
26	T2S3	403,58	411,04	121,74	289,30	281,84
27	T2S3	408,05	426,74	165,19	261,54	242,86
28	T2S3	250,30	312,94	141,07	171,87	109,23
29	T2S3	403,83	464,01	134,40	329,62	269,43
30	T2S3	229,85	254,08	135,03	119,04	94,81
				Carga total transportada	4903,36	4525,97
				Error debido al aparato (%)		8,34

- 3 Determinación del peso dinámico estimado de la carga transportada por los vehículos muestreados. Este valor se obtiene restando del peso dinámico del vehículo (suministrado por el sistema WIM) una “tara estimada” en función del tipo de vehículo en el que pueda ser clasificado.

$$\text{Peso dinámico estimado de la carga (kg)} = P_{din} - \text{Tara estimada}$$

Por tanto, se tendrá para cada una de estas tres bases de datos de taras utilizadas (Campaña de pesaje del CEDEX, EPTMC 2013 y RGV 2017) un peso dinámico estimado de la carga, que se calculará respectivamente con las operaciones:

- Peso dinámico estimado de la carga según la campaña de pesaje realizada por el CEDEX = $P_{din} - \text{Tara estimada en campaña CEDEX}$.
- Peso dinámico estimado de la carga según la EPTMC = $P_{din} - \text{Tara estimada en la encuesta EPTMC}$.

- c) Peso dinámico estimado de la carga transportada según el Registro General de Vehículos (RGV) de 2017 = P_{din} – Tara estimada según el RGV 2017.

Tabla 29. Cálculo de la “carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias de los tipos de vehículos obtenidas en la campaña de pesaje dinámico 2000-2003 del CEDEX y determinación del error de esta estimación.

Veh nº	Tipo de vehículo	Carga real = Pest-Tara (kN)	Tara estimada campaña 2003 (kN)	Carga estimada campaña 2003 (kN)	Error Carga estimada CEDEX 2003 (kN)	Error rel. Carga estim Camp 2003
1	T2S3	222,39	143,90	219,07	-3,33	-0,0150
2	T2S3	249,34	143,90	267,14	17,80	0,0714
3	T2S3	159,90	143,90	157,26	-2,64	-0,0165
4	T2S3	74,30	143,90	111,16	36,86	0,4960
5	T2S3	173,78	143,90	193,56	19,78	0,1138
6	T2S3	165,84	143,90	193,56	27,72	0,1672
7	C2	16,87	62,51	72,87	56,00	3,3186
8	C2	5,98	62,51	-10,52	-16,50	-2,7574
9	T2S3	168,14	143,90	161,19	-6,96	-0,0414
10	T2S3	49,40	143,90	100,37	50,96	1,0316
11	C2	17,36	62,51	66,98	49,62	2,8576
12	T2S3	38,50	143,90	86,63	48,13	1,2499
13	T2S3	268,89	143,90	268,12	-0,77	-0,0029
14	T2S3	252,85	143,90	232,80	-20,05	-0,0793
15	C2R2	121,84	126,72	182,30	60,46	0,4962
16	T2S3	231,52	143,90	239,67	8,15	0,0352
17	T2S3	157,51	143,90	186,69	29,18	0,1853
18	T2S3	272,19	143,90	249,48	-22,71	-0,0834
19	T2S3	79,49	143,90	110,18	30,69	0,3860
20	C2	12,56	62,51	79,74	67,18	5,3500
21	C3	151,71	111,70	155,14	3,42	0,0226
22	T2S3	176,92	143,90	174,92	-2,00	-0,0113
23	T2S3	147,69	143,90	173,94	26,25	0,1777
24	C2	60,92	62,51	102,30	41,38	0,6792
25	T2S3	251,87	143,90	268,12	16,25	0,0645
26	T2S3	281,84	143,90	267,14	-14,71	-0,0522
27	T2S3	242,86	143,90	282,83	39,98	0,1646
28	T2S3	109,23	143,90	169,04	59,80	0,5475
29	T2S3	269,43	143,90	320,11	50,68	0,1881
30	T2S3	94,81	143,90	110,18	15,36	0,1620
		Carga total real		Carga total estimada		
		4525,97		5191,94		
			Error total (%)	14,70		
			Error método (%)	5,89		

En las Tablas 29, 30 y 31 se muestran los cálculos realizados para determinar los pesos dinámicos estimados, para cada uno de los vehículos, utilizando los valores de las taras estimadas a través de los datos obtenidos en:

- la campaña de pesaje dinámico realizada entre 2000 y 2003 por el CEDEX (Tabla 29)
- la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013 (Tabla 30).
- El Registro General de Vehículos de 2017 (Tabla 31).

Tabla 30. Cálculo de la “carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera de 2013 y determinación del error de esta estimación

Veh nº	Tipo de vehículo	Carga real = Pest-Tara (kN)	Tara estimada EPTMC (kN)	Carga estimada EPTMC (kN)	Error Carga estim EPTMC (kN)	Error rel. Carga estim EPTMC
1	T2S3	222,39	142,48	220,49	-1,90	-0,0086
2	T2S3	249,34	142,48	268,56	19,22	0,0771
3	T2S3	159,90	142,48	158,69	-1,22	-0,0076
4	T2S3	74,30	142,48	112,58	38,28	0,5152
5	T2S3	173,78	142,48	194,98	21,20	0,1220
6	T2S3	165,84	142,48	194,98	29,15	0,1757
7	C2	16,87	77,55	57,83	40,95	2,4272
8	C2	5,98	77,55	-25,56	-31,54	-5,2710
9	T2S3	168,14	142,48	162,61	-5,53	-0,0329
10	T2S3	49,40	142,48	101,79	52,39	1,0604
11	C2	17,36	77,55	51,94	34,58	1,9914
12	T2S3	38,50	142,48	88,05	49,55	1,2869
13	T2S3	268,89	142,48	269,54	0,65	0,0024
14	T2S3	252,85	142,48	234,22	-18,63	-0,0737
15	C2R2	121,84	169,87	139,15	17,31	0,1420
16	T2S3	231,52	142,48	241,09	9,57	0,0414
17	T2S3	157,51	142,48	188,12	30,61	0,1943
18	T2S3	272,19	142,48	250,90	-21,29	-0,0782
19	T2S3	79,49	142,48	111,60	32,11	0,4039
20	C2	12,56	77,55	64,69	52,14	4,1521
21	C3	151,71	120,17	146,66	-5,05	-0,0333
22	T2S3	176,92	142,48	176,34	-0,58	-0,0033
23	T2S3	147,69	142,48	175,36	27,67	0,1874
24	C2	60,92	77,55	87,26	26,34	0,4323
25	T2S3	251,87	142,48	269,54	17,67	0,0701
26	T2S3	281,84	142,48	268,56	-13,28	-0,0471
27	T2S3	242,86	142,48	284,25	41,40	0,1705
28	T2S3	109,23	142,48	170,46	61,22	0,5605
29	T2S3	269,43	142,48	321,53	52,10	0,1934
30	T2S3	94,81	142,48	111,60	16,79	0,1770
Carga real total		4525,97	Carga estimada total	5097,83		
			Error total (%)	12,64		
			Error método (%)	3,97		

Así, en las tres tablas se incluye una columna en la que, a modo de referencia, se muestra la carga real transportada por todos y cada uno de los vehículos desviados y pesados estáticamente por la Guardia Civil. A continuación, en la columna siguiente, se proporcionan los datos de la tara estimada de cada uno de los vehículos pesados muestreados, en función del tipo en que pueden ser clasificados, de acuerdo con la base de datos elegida, que en la Tabla 29 es la de la campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX, en la Tabla 30 es la EPTMC del año 2013 y en la Tabla 31 es el Registro General de Vehículos de 2017. Seguidamente, en la columna contigua, se muestran los valores del peso dinámico estimado de la carga transportada por cada vehículo, calculado según el método aproximado propuesto.

Tabla 31. Cálculo de la “Carga transportada estimada” para cada vehículo utilizando las taras medias de los tipos de vehículos del Registro General de Vehículos de 2017

Veh nº	Tipo de vehículo	Carga real = Pest-Tara (kN)	Tara estimada RGV- DGT (kN)	Carga estimada RGV-DGT (kN)	Error Carga estim RGV-DGT (kN)	Error rel. Carga estim RGV-DGT
1	T2S3	222,39	146,03	216,94	-5,45	-0,0245
2	T2S3	249,34	146,03	265,01	15,67	0,0628
3	T2S3	159,90	146,03	155,14	-4,77	-0,0298
4	T2S3	74,30	146,03	109,03	34,73	0,4674
5	T2S3	173,78	146,03	191,43	17,65	0,1016
6	T2S3	165,84	146,03	191,43	25,60	0,1543
7	C2	16,87	62,94	72,44	55,56	3,2931
8	C2	5,98	62,94	-10,95	-16,93	-2,8293
9	T2S3	168,14	146,03	159,06	-9,08	-0,0540
10	T2S3	49,40	146,03	98,24	48,84	0,9885
11	C2	17,36	62,94	66,55	49,19	2,8328
12	T2S3	38,50	146,03	84,51	46,00	1,1947
13	T2S3	268,89	146,03	265,99	-2,90	-0,0108
14	T2S3	252,85	146,03	230,67	-22,18	-0,0877
15	C2R2	121,84	127,08	181,94	60,09	0,4932
16	T2S3	231,52	146,03	237,54	6,02	0,0260
17	T2S3	157,51	146,03	184,57	27,06	0,1718
18	T2S3	272,19	146,03	247,35	-24,84	-0,0913
19	T2S3	79,49	146,03	108,05	28,56	0,3593
20	C2	12,56	62,94	79,31	66,75	5,3157
21	C3	151,71	126,67	140,16	-11,55	-0,0761
22	T2S3	176,92	146,03	172,80	-4,13	-0,0233
23	T2S3	147,69	146,03	171,81	24,12	0,1633
24	C2	60,92	62,94	101,87	40,95	0,6722
25	T2S3	251,87	146,03	265,99	14,12	0,0561
26	T2S3	281,84	146,03	265,01	-16,83	-0,0597
27	T2S3	242,86	146,03	280,71	37,85	0,1558
28	T2S3	109,23	146,03	166,91	57,67	0,5280
29	T2S3	269,43	146,03	317,98	48,55	0,1802
30	T2S3	94,81	146,03	108,05	13,24	0,1396
Carga real total		4525,97	Carga estimada total	5125,53		
			Error total (%)	13,25		
			Error método (%)	4,53		

Como se puede comprobar a la vista de estas tablas, el error total obtenido en la determinación del peso de la carga total transportada utilizando las taras de la campaña de pesaje del CEDEX ha sido del 14,7%, cuando se han utilizado las taras de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera ha alcanzado un 12,64 % y si se utilizan las taras del Registro General de Vehículos el error total es el 13,25 %. Por otro lado, el error en la determinación del peso de la carga transportada debido solamente a las simplificaciones del método de estimación desarrollado (es decir, excluyendo el error del aparato de medida) ha sido del 5,89 % utilizando las taras de la campaña del CEDEX, del 3,97 % con las taras de la EPTMC 2013 y del 4,53 % con los datos del Registro General de Vehículos de 2017.

6.2.4.3 Determinación de los errores cometidos en el cálculo de la carga transportada por cada vehículo

Una vez estimado el peso de la carga para cada vehículo según ambas bases de datos, se debe realizar la comprobación de la exactitud y precisión del método.

Para ello, se ha determinado para cada vehículo el **error absoluto** incurrido al estimar el peso de la carga transportada, que será igual al peso dinámico estimado de esta carga (columna central de las Tablas 28, 29 y 30) menos la carga realmente transportada (la siguiente columna situada más a la derecha en esas mismas tablas):

$$\begin{aligned} \text{Error absoluto de peso de la carga} &= \text{Peso estimado de la carga} - \text{peso real de la carga} \\ &= (P_{din} - \text{Tara estimada}) - (\text{Peso estático} - \text{Tara real}) \end{aligned}$$

Dividiendo el error absoluto en el peso de la carga transportada entre el peso real de esta carga se obtiene el **error relativo cometido al estimar el peso de la carga transportada** por cada vehículo por el método descrito:

$$\text{Error relativo del peso carga (\%)} = (\text{Error absoluto peso carga} / \text{Peso real carga}) * 100$$

Los valores del error absoluto y el error relativo obtenidos para cada vehículo en la estimación del peso de la carga transportada para ambas bases de datos de taras, se muestran en las dos columnas de más a la derecha de las Tablas 29, 30 y 31.

La causa inmediata de los altos valores de los errores hay que buscarla en lo que se conoce como el efecto de **“propagación de los errores”**. Así, en los experimentos (procedimientos) que requieren varias medidas para llegar al resultado final por aplicación de una fórmula, como es el caso que nos ocupa, es importante considerar las reglas de lo que se conoce como “propagación de errores” [46], que permiten asignar una incertidumbre al resultado final.

Dado que el método de determinación del peso de la carga transportada se basa en la resta de dos cantidades, la incertidumbre total del método estará asociada con la operación de restar dos cantidades: el peso en báscula y la tara asignada.

Según la teoría de análisis y propagación de errores, es bien conocido que:

- Si una magnitud es suma de otras dos, el error de la magnitud suma será, en el caso más desfavorable, la suma de los errores de los sumandos. Es decir, si $z = x + y$, el error de z será, $\delta z = \delta x + \delta y$.
- Si una magnitud es resta de otras dos ($z' = x - y$), el error de la magnitud diferencia, en el caso más desfavorable, **también es la suma de los errores de los sumandos** (y no su resta): $\delta z' = \delta x + \delta y$.

Por eso, restar dos números inciertos (en el caso que nos ocupa, serían el peso suministrado por el sistema WIM y la tara asignada) suele plantear problemas porque,

al final, nos quedamos con un número menor que los originales y con un error mayor; con lo cual el error relativo aumenta irremediablemente [47]. Si además los dos números que se restan fueran de una magnitud muy parecida (por ejemplo, cuando el vehículo circula descargado), puede ocurrir que la diferencia sea menor que su incertidumbre (error mayor del 100%), con lo cual tal diferencia no significaría nada; es decir, no sabremos si los verdaderos valores de las magnitudes especificadas por los números inciertos son realmente diferentes o no.

No obstante, se ha realizado un estudio más detallado para explorar la posibilidad de que en algunos casos sí que se puedan utilizar esos datos.

6.2.4.3.1 *Estudio en detalle de los errores individuales en la estimación de la carga transportada*

Como resumen de la magnitud de los errores relativos obtenidos en la estimación del peso de la carga transportada por cada uno de los vehículos pesados de la muestra, se proporciona la Figura 25, en el que aparece un histograma de las frecuencias de los distintos intervalos de errores relativos para el caso de estimación del peso de la carga transportada partiendo de los datos de taras de la campaña CEDEX 2000-2002.

Figura 25. Frecuencias absolutas de los distintos intervalos de errores relativos en la determinación del peso de la carga transportada por todos los vehículos de la muestra

Como se puede ver en la Figura 25, para 12 vehículos (un 40%) de los 30 que componen la muestra, el error en la determinación del peso de la carga se ha mantenido en un nivel bastante bajo del $\pm 10\%$, mientras que para 19 vehículos (un 63%) el error ha estado dentro del intervalo $(-10\%, +20\%)$, que no es simétrico respecto al valor 0 debido al sesgo remanente de las mediciones del sistema de pesaje

dinámico, pero que quiere decir que en casi 2/3 de los vehículos el error del peso de la carga se ha mantenido dentro de niveles tolerables.

Tabla 32. Ordenación de los vehículos según el valor del error relativo en la estimación del peso de la carga transportada y causas de los errores grandes.

Veh nº	Tipo de vehíc	Error Carga estimada Camp CEDEX 2003 (k	Error rel. Carga estim Camp 2003	Causas de error alto
20	C2	67,18	5,3500	Alto error en tara
7	C2	56,00	3,3186	Alto error en tara
11	C2	49,62	2,8576	Alto error en tara + alto error en peso total
12	T2S3	48,13	1,2499	Alto error en peso total
10	T2S3	50,96	1,0316	Alto error en tara + alto error en peso total
24	C2	41,38	0,6792	Alto error en tara + alto error en peso total
28	T2S3	59,80	0,5475	Alto error en peso total
15	C2R2	60,46	0,4962	Alto error en tara
4	T2S3	36,86	0,4960	Poca carga + error medio en tara
19	T2S3	30,69	0,3860	Poca carga + error medio en tara
29	T2S3	50,68	0,1881	
17	T2S3	29,18	0,1853	
23	T2S3	26,25	0,1777	
6	T2S3	27,72	0,1672	
27	T2S3	39,98	0,1646	
30	T2S3	15,36	0,1620	
5	T2S3	19,78	0,1138	
2	T2S3	17,80	0,0714	
25	T2S3	16,25	0,0645	
16	T2S3	8,15	0,0352	
21	C3	3,42	0,0226	
13	T2S3	-0,77	-0,0029	
22	T2S3	-2,00	-0,0113	
1	T2S3	-3,33	-0,0150	
3	T2S3	-2,64	-0,0165	
9	T2S3	-6,96	-0,0414	
26	T2S3	-14,71	-0,0522	
14	T2S3	-20,05	-0,0793	
18	T2S3	-22,71	-0,0834	
8	C2	-16,50	-2,7574	Casi sin carga + alto error en tara

Sin embargo, este error ha resultado ser muy alto (> del 100%) para 6 vehículos de los 30 que forman la muestra. Para estudiar más detenidamente los posibles motivos de que se produzcan unos errores tan grandes, en la Tabla 32 se ha realizado una ordenación de los errores relativos de mayor a menor, habiéndose examinado la causa de los errores anormalmente altos (véase en la columna de más a la derecha), considerando como tales a todos los que superan el $\pm 20\%$ del peso de la carga real.

En primer lugar, se observa que los errores más altos, tanto por defecto como por exceso, se han producido en los camiones rígidos de 2 ejes (tipo C2), lo que se debe a que en este tipo de vehículo, se engloban camiones de tamaños y tipología muy diferentes entre sí, por lo que la dispersión de la tara es muy grande (desviación típica

mayor del 30 %), con lo cual el valor de la tara es muy incierto, pudiendo existir errores grandes al asignar una tara media a los vehículos.

No obstante, como se puede ver en la Tabla 32, los errores relativos altos no se circunscriben solamente a los camiones rígidos de 2 ejes, sino que también se pueden dar en otros tipos de vehículos, lo que se ha debido a errores altos en el peso del camión suministrado por el sistema WIM o a que el vehículo circula casi descargado y un pequeño error absoluto en la determinación del peso de la carga representa un porcentaje grande de error al dividirlo por una carga muy pequeña.

6.2.4.4 Estimación de la carga total transportada por el conjunto de vehículos de la muestra reducida

Una vez determinados los pesos de las cargas transportadas por cada vehículo según el método aproximado, el paso siguiente que se debe realizar es:

- 1- Calcular el valor del **peso total de la carga transportada por el conjunto de vehículos de la muestra reducida**, pues tiene una aplicación práctica en economía para determinar las toneladas-km transportadas por todos los vehículos que circulan por una carretera.

Este peso total de la carga transportada se ha calculado directamente como suma de los pesos de las cargas de cada vehículo individual (véanse las tablas 29, 30 y 31).

- 2- Comprobar el error que se comete al estimar este peso de la carga total transportada por el conjunto de vehículos de la muestra.

Esta comprobación del error que en la estimación del peso de la carga total transportada por el conjunto de vehículos es inmediata, pues lo único que hace falta es sumar el peso de las **cargas estimadas** de todos los vehículos de la muestra y compararlo con la suma de los pesos de las **cargas reales** de los mismos vehículos.

En un recuadro en la parte de debajo de las Tablas 29, 30 y 31 se ha calculado el valor de este error relativo en la estimación del peso de la carga total transportada, que ha resultado ser de un 14,7 % por exceso para el caso de utilizar las taras medias de la campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX, de un 12,6 % también por exceso para el caso de utilizar en la estimación las taras medias de la Encuesta EPTMC y de un 13,3 % por exceso igualmente si se utiliza la estimación de las taras del Registro General de Vehículos.

Como se puede ver, el valor del error en el peso de la carga total transportada por el conjunto de vehículos de la muestra es bastante reducido, por un lado, a pesar del elevado sesgo (6,35%) de los pesos proporcionados por el equipo de pesaje dinámico y, por otro, de los altos valores del error en las cargas de muchos de los vehículos individuales, que superó el $\pm 20\%$ en más de 1/3 de los 30 vehículos, llegando a un valor superior al 100% en 5 de ellos.

La causa de que este error relativo en la carga total transportada por el conjunto de vehículos sea reducido está en que algunos de los errores que se cometen por exceso para algunos vehículos se compensan con los errores que se cometen por defecto para otros (es decir, que existe una compensación de errores de signo negativo con los positivos), resultando un error en la carga total transportada por todos los vehículos de la muestra bastante tolerable, que permitiría la aplicación efectiva de este método de estimación para el cálculo de la carga total transportada por todos los vehículos que circulan por una carretera o por toda la red.

Por otro lado, de acuerdo con las cifras mostradas en la Tabla 28, si se compara la carga real transportada por el conjunto de vehículos de la muestra (calculada como la suma de los valores de la columna de Pest –Tara real) con la carga dinámica real transportada que ha sido medida por el sistema WIM (la suma de los valores de la columna Pdin – Tara real), se obtiene el error debido únicamente a las imprecisiones (sesgo + dispersión) del sistema de pesaje dinámico, resultando un valor de aproximadamente el 8%, por exceso; por tanto cabría atribuir el error restante (entre un 4% y un 6%) hasta completar el 15% para la utilización de las taras del CEDEX, el 12,64% si se utilizan las taras de la EPTMC o el 13.25% si se utilizan las taras medias del Registro General de Vehículos, a las simplificaciones del método aproximado propuesto.

6.2.4.5 Consideración del error en la clasificación automática de los vehículos

Aunque la determinación automatizada de la clasificación por tipos (silueta) de los vehículos que forman el tráfico de una carretera es el primer paso que se debe realizar para aplicar el método de estimación del peso de las cargas transportadas que se explica en este documento, se ha escogido deliberadamente tratarlo al final, pues constituye por sí mismo un procedimiento completamente diferenciado.

Así, partiendo de los datos sobre los vehículos aportados por el sistema de pesaje dinámico (como son su longitud, peso, número de ejes y distancia entre ejes consecutivos y peso de cada uno de los ejes) y su tratamiento, se ha elaborado un programa que se basa en el establecimiento de relaciones y límites entre los anteriores parámetros, para obtener una silueta detallada (en 15 tipos diferentes de vehículos) del tráfico que circula por el emplazamiento del sistema WIM.

No se van a explicar en detalle las condiciones que se imponen para diferenciar unos tipos de vehículos de otros, pues ya se han explicado en el Apartado 5.1. Solamente se desea reseñar que, entre las principales novedades de este programa en relación con otros existentes en el mercado está el que no se basa únicamente en el número de ejes como parámetro principal para diferenciar unas clases de vehículos de otras, pues se ha tratado de que para determinar el tipo en el que puede ser clasificado un vehículo tenga en cuenta si éste lleva algún eje elevado o no, pues la mayor parte de los sistemas de clasificación por ejemplo consideran, por ejemplo, que si un vehículo de 5 ejes lleva un eje levantado es como si se tratara de un vehículos de 4 ejes, lo cual, además de facilitar enormemente la clasificación, puede tener su utilidad en cuanto a

la determinación de los efectos del paso del vehículo sobre los firmes de las carreteras, pues estos solo perciben las cargas de los ejes apoyados sobre el pavimento.

Sin embargo, el anterior planteamiento (esto es, clasificar a los vehículos según el número de ejes apoyados en el pavimento) introduciría un cierto error para determinar la tara de los vehículos que llevan un eje levantado, pues como se ha mencionado, el método de determinación automática de la carga transportada por los vehículos asignaría a estos vehículos la tara media de un tipo de vehículo que tendría un eje menos del tipo al que pertenece realmente, por lo que se optó por elaborar un programa que tratara de determinar, en lo posible, el tipo verdadero de vehículo de que se trata en cada caso, aunque pudiera llevar algún eje elevado.

La exactitud del programa de clasificación elaborado para realizar la diferenciación de los vehículos según el tipo al que pertenecen se evaluó para dos muestras diferentes de vehículos pesados:

- La muestra reducida de 30 vehículos pesados que fueron desviados para su pesaje estático.
- La muestra amplia tomada visualmente (y mediante fotografía) durante varias horas de los 4 días en que estuvo funcionando el equipo, compuesta de 653 vehículos

Con respecto a la muestra reducida de los 30 vehículos que, tras pasar por el sistema de pesaje dinámico, luego fueron pesados estáticamente en la báscula fija existente en el km 82 de la A-2 a la altura de Trijueque, los resultados de la clasificación se muestran en la Tabla 33.

Aunque los resultados no se pueden considerar muy representativos por el reducido tamaño de la muestra, se puede ver en la Tabla 33 que, de los 31 vehículos que pasaron (de los cuales 30 eran vehículos pesados) sólo hubo un vehículo clasificado erróneamente en un tipo equivocado, con lo cual, como al sumar los vehículos clasificados erróneamente en cada una de las clases, este vehículo cuenta como dos (uno, la del tipo en que fue encasillado equivocadamente, y el otro, en la del tipo real al que pertenece, en el que no fue asignado).

Tabla 33 Resultados de clasificación automatizada de los vehículos de la muestra reducida que fueron pesados en una báscula estática

SAMPLE OF STATICALLY WEIGHED VEHICLES						Classification of statically weighed vehicles	Vehicles without lifted axles	Absolute error (a)-(b)	Absolute error (a)-(b)	Relative error (%) (a)-(b) /b*100	Vehicles with lifted axles	
A-2 Motorway km 82 Trijueque (Spain). 17 and 18 June 2015												
VEHICLE CLASSIFICATION USING WIM EQUIPMENT (heavy vehicles: GVW>34,3 kN)												
TYPE	SILHOUETTE		Description	Volume	(%)	Proportion of heavy vehicles %						
MAV<=34,3 kN	1		Motorbikes and light vehicles	1	3,2		1	1	0	0	0,0	
	2		C2	5	16,1	16,7	5	5				
Heavy vehicles (MAV>34,3 kN)	3		C3	1	3,2	3,3	1	1	0	0	0,0	0
	4		C4	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	5		T2+S1	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
	6		T2+S2	1	3,2	3,3	0	0	1	1	100,0	0
	7		T2+S3	23	74,2	76,7	23	22	0	0	0,0	1
	8		T3+S2	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	9		T3+S3	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	10		C2+R2	0	0,0	0,0	1	1	-1	1	100,0	0
	11		C2+R3	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	12		C3+R2	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	13		C3+R3	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0
	14		B2	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
	15		B3	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	
Classified heavy vehicles (GVW>34,3 kN)				30	96,8	100,0	30		0	2	6,67	0,0
Non-classified heavy vehicles				0	0,0	0,0						
Total heavy vehicles (GVW>34,3kN)				30	96,8	100,0						
Total vehicles (light + heavy vehicles)				31	100,0		31				6,45	
NOTE: C: Rigid lorry T: Tractor S: Semi - trailer R: Trailer B: Bus												

El vehículo clasificado en un tipo erróneo fue un tren de carretera de 4 ejes tipo C2+R2, utilizado para el transporte de coches, formado por un camión rígido de 2 ejes y un remolque de otros dos ejes que forman un eje tándem. Este camión fue clasificado como vehículo articulado tipo T2S2, formado por una cabeza tractora de 2 ejes y un semirremolque de otros 2 ejes que forman tándem entre sí.

En definitiva, se puede decir que la tasa de clasificación errónea fue de 2 vehículos sobre 30 vehículos pesados, que es un 6,7%, que no puede considerarse muy buena, aunque tampoco es demasiado mala.

Por último, como comparación cabe decir que, al realizar la clasificación de los vehículos de la muestra amplia, fueron clasificados erróneamente 25 vehículos, que frente a los 653 de la muestra representa un porcentaje de error del 3,83 %. Una parte importante de los fallos se produjeron al clasificar a vehículos articulados de 5 ejes (T2S3) con algún eje levantado como articulados de 4 ejes (T2S2), con 9 vehículos erróneamente clasificados, que puede parecer bastante alto, pero no lo es tanto si se tiene en cuenta que hubo 42 vehículos del tipo T2S3 que viajaban con un eje levantado.

6.2.4.5.1 Influencia de la exactitud en la clasificación de los vehículos para el cálculo aproximado de las cargas transportadas

La influencia de estos errores de clasificación automática de los vehículos en la determinación del peso de la carga transportada se calculó tal como se muestra en la Tabla 34, que es similar a las Tablas 29 y 30, pero en la que se ha sustituido la tara correspondiente al tipo real al que pertenece el vehículo erróneamente clasificado por la tara estimada del tipo al que fue asignado por el sistema (véase el vehículo marcado en color amarillo en la Tabla 34).

Como se puede ver en la Tabla 34, la pequeña incorrección que ha cometido el programa de clasificación de los vehículos para obtener la composición correcta del tráfico pesado no se han traducido en un gran aumento del error total en el peso de la carga transportada por el conjunto de vehículos de la muestra, pues la variación ha sido aproximadamente de un 1% para ambas bases de datos de taras (Campaña de pesaje del CEDEX y EPTMC 2013), e incluso se ha reducido (del 14,7% al 14,5%) al utilizar las taras estimadas de la campaña del CEDEX.

La generalización de la posible influencia de los errores de determinación de la silueta en los errores del peso total de la carga transportada por el conjunto de vehículos se tratará a continuación al exponer el análisis de sensibilidad del método propuesto.

Tabla 34. Determinación del error en la determinación de la carga total transportada debido a la clasificación errónea de algunos vehículos

Veh n°	Tipo de vehículo real	Tipo vehículo según sistema WIM	Peso estático (kN)	Peso dinámico (kN)	Tara real (kN)	Carga real = Pest - Tara (kN)	Tara estimada campaña CEDEX (kN)	Tara estimada EPTMC (kN)	Carga estimada campaña CEDEX (kN)	Carga estimada EPTMC (kN)
1	T2S3	T2S3	378,37	362,97	155,98	222,39	143,90	142,48	219,07	220,49
2	T2S3	T2S3	415,01	411,04	165,67	249,34	143,90	142,48	267,14	268,56
3	T2S3	T2S3	281,55	301,17	121,64	159,90	143,90	142,48	157,26	158,69
4	T2S3	T2S3	237,16	255,06	162,86	74,30	143,90	142,48	111,16	112,58
5	T2S3	T2S3	341,83	337,46	168,05	173,78	143,90	142,48	193,56	194,98
6	T2S3	T2S3	326,72	337,46	160,88	165,84	143,90	142,48	193,56	194,98
7	C2	C2	113,35	135,38	96,48	16,87	62,51	77,55	72,87	57,83
8	C2	C2	48,46	51,99	42,48	5,98	62,51	77,55	-10,52	-25,56
9	T2S3	T2S3	320,79	305,09	152,64	168,14	143,90	142,48	161,19	162,61
10	T2S3	T2S3	219,20	244,27	169,80	49,40	143,90	142,48	100,37	101,79
11	C2	C2	110,56	129,49	93,20	17,36	62,51	77,55	66,98	51,94
12	T2S3	T2S3	192,82	230,54	154,31	38,50	143,90	142,48	86,63	88,05
13	T2S3	T2S3	394,56	412,02	125,67	268,89	143,90	142,48	268,12	269,54
14	T2S3	T2S3	418,64	376,70	165,79	252,85	143,90	142,48	232,80	234,22
15	C2R2	T2S2	305,68	309,02	183,84	121,84	138,17	128,35	170,85	180,67
16	T2S3	T2S3	388,82	383,57	157,30	231,52	143,90	142,48	239,67	241,09
17	T2S3	T2S3	292,83	330,60	135,32	157,51	143,90	142,48	186,69	188,12
18	T2S3	T2S3	414,42	393,38	142,24	272,19	143,90	142,48	249,48	250,90
19	T2S3	T2S3	239,81	254,08	160,32	79,49	143,90	142,48	110,18	111,60
20	C2	C2	122,33	142,25	109,77	12,56	62,51	77,55	79,74	64,69
21	C3	C3	256,29	266,83	104,57	151,71	111,70	120,17	155,14	146,66
22	T2S3	T2S3	314,07	318,83	137,14	176,92	143,90	142,48	174,92	176,34
23	T2S3	T2S3	307,84	317,84	160,15	147,69	143,90	142,48	173,94	175,36
24	C2	C2	143,81	164,81	82,89	60,92	62,51	77,55	102,30	87,26
25	T2S3	T2S3	394,75	412,02	142,88	251,87	143,90	142,48	268,12	269,54
26	T2S3	T2S3	403,58	411,04	121,74	281,84	143,90	142,48	267,14	268,56
27	T2S3	T2S3	408,05	426,74	165,19	242,86	143,90	142,48	282,83	284,25
28	T2S3	T2S3	250,30	312,94	141,07	109,23	143,90	142,48	169,04	170,46
29	T2S3	T2S3	403,83	464,01	134,40	269,43	143,90	142,48	320,11	321,53
30	T2S3	T2S3	229,85	254,08	135,03	94,81	143,90	142,48	110,18	111,60
					Suma	4525,97		Suma	5180,49	5139,35
								Error total (%)	14,5	13,6

6.2.5 Estudio de comprobación del método realizado con la muestra amplia, de más de 600 vehículos pesados fotografiados

A continuación se va a exponer el estudio llevado a cabo para determinar los errores que se cometen al determinar la carga transportada utilizando el método de estimación desarrollado sobre la muestra amplia de vehículos, que incluye más de 600 vehículos fotografiados en el momento de pasar sobre el sistema de pesaje dinámico, con objeto de obtener, además de los datos proporcionados automáticamente por el sistema de pesaje, sus taras y MMA.

6.2.5.1 Datos obtenidos y cálculos realizados con la muestra amplia de vehículos

En esta muestra amplia se recogieron datos de 653 vehículos fotografiados y registrados por el equipo de pesaje. Sus números de matriculación fueron enviados a la Dirección General de Tráfico que remitió en abril de 2016 las taras y MMA de cada uno de ellos. Una vez obtenidos todos los datos de estos vehículos, se cotejaron con ciertas condiciones preestablecidas para comprobar su corrección: que estuvieran correctamente registrados por el equipo de pesaje (con todos sus ejes), que se tratara

de vehículos pesados (peso > 3.500 kg), una tara de los vehículos acorde con su tipo, etc. Después de realizar este filtrado, se eliminaron 11 vehículos, con lo cual el número final de vehículos de la muestra amplia cuyos datos han sido analizados en este apartado ha sido de 642.

Al igual que se realizó con la muestra reducida de 30 vehículos pesados estáticamente, siguiendo los pasos del procedimiento determinación de la carga transportada desarrollado, se anotaron los siguientes datos de cada uno de los vehículos de la muestra amplia:

1. el peso dinámico total del vehículo, que fue obtenido por el sistema de pesaje en movimiento,
2. la tara real de cada vehículo, proporcionada por la Dirección General de Tráfico.
3. la tara estimada del vehículo en función del tipo real (tomado visualmente) de vehículo de que se trate y utilizando una base de datos de taras, que en el caso que se muestra a continuación la utilizada fue la de la campaña de pesaje 2000-2003 (aunque también se puede realizar el cálculo usando la base de datos de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera de 2013).

Todo lo anterior se refiere a la clasificación de los vehículos realizada visualmente por medio de observadores humanos. Sin embargo, como el objetivo es automatizar completamente el proceso a través de los datos suministrados por el sistema de pesaje dinámico, se debe conseguir asignar una tara a cada vehículo en función del tipo en el que es clasificado automáticamente por el sistema de pesaje. Por ello, también se anotaron los siguientes datos:

4. el tipo en el que fue clasificado cada vehículo por el sistema de pesaje dinámico
5. la tara estimada del vehículo en función del tipo en el que fue clasificado automáticamente por el sistema de pesaje.

Tras realizar todas estas operaciones, se han obtenido como resultados:

6. una carga transportada estimada visualmente para cada vehículo, que vendrá dada por la resta del peso dinámico total del vehículo (1) menos la tara estimada a partir de la clasificación visual del vehículo (3),
7. una carga transportada estimada automáticamente para cada vehículo que resultará de la resta del peso dinámico total del vehículo (1) menos la tara estimada (5) a partir de la clasificación automática del vehículo por parte del sistema de pesaje dinámico.

6.2.5.2 Resultados obtenidos con la muestra amplia de más de 600 vehículos pesados

La composición de la muestra amplia de 642 vehículos pesados se ha mostrado en la Tabla 25 del apartado 6.1.3, al hablar de la precisión de la clasificación automática de los vehículos (que fue un 4,05%, valor bastante reducido).

En la columna de “Vehículos muestreados clasificados visualmente” de la Tabla 24 aparecen los datos de la composición real de la muestra, obtenida mediante la observación por operarios de los vehículos en la carretera, y de las fotos tomadas de cada uno de ellos, mientras que en otra columna aparece la clasificación obtenida automáticamente por el sistema de pesaje dinámico, mediante el programa de clasificación elaborado (“Vehículos clasificados con Excel”).

Tomando como ciertos los datos de la clasificación real, se puede ver que la muestra está formada por 642 vehículos pesados, de los cuales, 536 (más del 80%) son vehículos articulados de 5 ejes (cabeza tractora de 2 ejes + semirremolque de eje trídrem), existiendo también una cantidad apreciable de vehículos rígidos de 2 ejes (51 vehículos) y de 3 ejes (16 camiones), así como de trenes de carretera de 4 ejes (camión rígido tractor de 2 ejes + remolque de 2 ejes), con 25 vehículos. Existen además pequeñas proporciones de camiones de otros tipos, así como 5 autobuses.

Pasando a la determinación de la carga total transportada por el conjunto de los vehículos la muestra amplia de vehículos fotografiados, los resultados de peso total obtenido se muestran en las Tablas 35 y 36.

Concretamente, en la Tabla 35 aparece el peso total de la carga transportada por los 637 camiones de la muestra amplia (642 vehículos pesados – 5 autobuses = 637 camiones), que se ha calculado utilizando, por un lado, las taras reales de cada vehículo y, por otro, las taras asignadas para cada tipo de vehículo según las tres bases de datos de taras consideradas: la Campaña de pesaje dinámico 2000-2003 del CEDEX, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) de 2013 y el Registro General de Vehículos de 2017. También se ha calculado el error relativo cometido al utilizar las taras asignadas según el tipo de vehículo frente al empleo de las taras reales, obteniéndose lo que sería el error debido a las simplificaciones del método. Por último, se muestra el peso de la carga media por camión obtenido con cada base de datos de taras utilizada.

De forma más detallada, estos valores del peso de la **carga total transportada** que aparecen en la Tabla 34 se han calculado utilizando:

1. Las taras reales de cada vehículo (columna de “Taras reales DGT”), proporcionadas por la Dirección General de Tráfico. Es decir, se ha calculado la carga de cada vehículo restando el peso dinámico proporcionado por el sistema de pesaje menos su tara real, obteniéndose lo que anteriormente se ha designado como “carga dinámica real transportada”.
2. Las taras estimadas en función del tipo y la clasificación visual (en las tres columnas de más a la derecha), es decir, a cada vehículo se le ha asignado una tara según el tipo en el que ha sido clasificado visualmente, para cada

una de las tres bases de datos de taras antes enumeradas, calculándose la carga como diferencia entre el peso del vehículo suministrado por el sistema de pesaje dinámico y la tara asignada según su tipo real, con el fin de obtener la llamada “carga dinámica estimada transportada”, en función de su tipo real (visual).

Tabla 35. Resultados de la carga total transportada por el conjunto de 637 camiones de la muestra amplia, obtenidos con distintas bases de datos de taras

	Base de datos de taras utilizada			
	Taras reales DGT	Campaña pesaje CEDEX 2000-2003	Encuesta Permanente Transporte Mercancías 2013	Registro General de Vehículos 2017
Carga total transportada (t)	10.147,2	10.572,3	10.422,1	10.407,4
Error (%)	-	4,19	2,71	2,56
Carga media transportada por vehículo (t)	15,9	16,6	16,4	16,3

La Tabla 36 muestra de forma desglosada las cargas totales transportadas por los vehículos de cada tipo, que se han calculado utilizando tanto las taras reales como las taras asignadas en función del tipo, empleando en este caso solamente las obtenidas de la base de datos de la campaña de pesaje dinámico del CEDEX.

Además, en las dos columnas de más a la derecha de la Tabla 36, en que se muestran los valores de las cargas transportadas estimadas en función del tipo de vehículo, se ha comparado la carga calculada utilizando las taras estimadas, en un caso obteniendo el tipo de vehículo mediante clasificación visual (recogida por operarios) de los vehículos y, en el otro caso, obteniendo el tipo de vehículo mediante clasificación automática. Por tanto, en este último caso se ha llevado a cabo el procedimiento de forma totalmente automatizada, es decir, tal como se haría una vez que el procedimiento desarrollado estuviera totalmente implantado, pues a cada vehículo se le ha asignado una tara según el tipo en el que ha sido clasificado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico, calculándose la carga como diferencia entre el peso del vehículo suministrado por el sistema de pesaje dinámico y la tara asignada según su tipo clasificado automáticamente, con el fin de obtener la llamada “carga dinámica estimada transportada”.

Tabla 36. Cargas totales transportadas por todos los vehículos de la muestra amplia que han sido estimadas utilizando el procedimiento desarrollado

Tipo de vehículo	Número de vehículos		Cargas de los vehículos (t)		
	Visual	Sistema de pesaje dinámico	Con taras reales (DGT)	Con taras estimadas y clasificación visual (1)	Con taras estimadas y clasificación automática (2)
Rígidos de 2 ejes	53	51	210,8	313,3	308,5
Rígidos de 3 ejes	16	16	103,2	115,9	95,7
Rígidos de 4 ejes	1	1	18,2	13,9	17,1
Articulados de 4 ejes (2 +2)	0	10	0	0	183,2
Articulados de 5 ejes (2+3)	536	532	9.455,2	9.650,3	9.611,1
Articulados de 6 ejes (3 +3)	1	0	11,7	16,0	0
Trenes (2 +2)	25	21	296,4	393,1	269,8
Trenes (2 +3)	2	1	20,6	29,6	15,3
Trenes (3+2)	1	0	4,9	6,8	0
Trenes (3+3)	2	3	26,3	33,4	45,0
Bus de 2 ejes	4	6	5,28	29,3	0
Bus de 3 ejes	1	1	3,7	8,3	0
TOTAL (sin autobuses)	637	635	10.147,2	10.572,3	10.545,7

Como se puede ver en la Tabla 36, las cifras que aparecen en relación con la estimación de las cargas totales transportadas son las siguientes:

1. Carga total transportada utilizando el peso dinámico y las taras reales ("Carga dinámica real"): 10.147,2 t.
2. Carga total transportada estimada utilizando el peso dinámico y las taras (de la base de datos de la campaña de pesaje del CEDEX) estimadas en función del tipo real de vehículo ("Carga dinámica estimada (1)"), clasificado visualmente: 10.572,3 t.
3. Carga real transportada estimada utilizando el peso dinámico y las taras (de la base de datos de la campaña de pesaje del CEDEX) estimadas ("Carga dinámica estimada (2)") en función del tipo de vehículo determinado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico: 10.545,7 t.

En consecuencia, el error que se comete al calcular las cargas transportadas utilizando las taras estimadas en función del tipo real de vehículo, será igual a:

$$E_1 = (10.572,3 - 10.147,2) / 10.147,2 = 4,2 \, \%$$

Este error del 4,2% puede considerarse como el error debido a las simplificaciones del método de estimación de las cargas transportadas.

Por otro lado, el error que se comete al determinar la carga total transportada utilizando tanto las taras estimadas en función del tipo de vehículo, siendo este tipo a su vez estimado utilizando la clasificación automática del sistema de pesaje dinámico, vendrá dado por la operación:

$$E_2 = (10.545,7 - 10.147,2) / 10.147,2 = 3,9 \%$$

Este error del 3,9 % es el error que se comete al estimar tanto las taras de cada vehículo como el tipo al que pertenece y, como se puede ver, es de menor valor que el error incurrido al estimar solamente las cargas transportadas pero utilizando la clasificación real de los vehículos, lo que quiere decir que, al menos en este caso, ambas componentes del error (la debida a las simplificaciones del método al sustituir la tara real por la tara media del tipo, y la debida a la clasificación automática de vehículos) se compensan parcialmente entre sí. Por otro lado, puede considerarse que este error debido a las simplificaciones conjuntas de ambos procedimientos es de un valor bastante reducido.

Si se atiende a las cargas transportadas por cada tipo de vehículo, considerando solamente los tipos en los cuales existe un número apreciable de vehículos (>10), (frecuencia absoluta que sólo alcanzan los rígidos de 2 y de 3 ejes, los articulados de 5 ejes y los trenes de carretera formados por un camión rígido de 2 ejes y un remolque también de 2 ejes) , se observa que el error mayor en la determinación de la carga al utilizar las taras estimadas en vez de las reales corresponde a los rígidos de 2 ejes , lo que se debe a que en este tipo existen vehículos de tipologías, tamaños y, en consecuencia. taras muy diferentes. Así, un examen más detallado indica que la tara real media de los camiones de 2 ejes en la muestra ha sido 8,1 t, mientras que la tara media asignada (la de la campaña del CEDEX) sólo fue 6,4 t, por lo cual la estimación de la carga transportada no puede ser buena. Esta diferencia se debe a que en esta muestra faltan entre los camiones de 2 ejes los camiones de reparto, que suelen ser pequeños.

Sin embargo, la estimación de la carga transportada es muy precisa en los vehículos articulados de 5 ejes, que constituyen más del 80% del total de vehículos de la muestra (que por otro lado es bastante representativa del tráfico pesado en vías de transporte de largo recorrido), debido a la poca variabilidad de la tara de estos vehículos, lo que trae como resultado que el error en la estimación del total de la carga transportada sea también bastante pequeño.

6.2.6 Comparación de los resultados obtenidos con ambas muestras

En la Tabla 37 se ha realizado una comparación de los resultados obtenidos tanto en la muestra reducida de 30 vehículos pesados estáticamente como de la muestra amplia de 637 vehículos, cuyas taras fueron proporcionadas por la DGT a partir de los datos de la matrícula, en cuanto a la determinación del peso total de la carga transportada y al error incurrido al realizar esta estimación en relación con la carga realmente transportada.

A la vista de los datos y resultados de la Tabla 37, se pueden hacer las siguientes precisiones:

- 1 Respecto de la muestra pequeña de 30 vehículos pesados estáticamente, al conocerse tanto el peso estático de los vehículos como las taras reales de todos ellos, se puede obtener el valor real (a) de la carga transportada, así como los valores de la carga dinámica real (b), la carga dinámica estimada al asignar las taras del tipo de vehículo obtenido visualmente (c) y de la carga dinámica estimada al asignar las taras del tipo de vehículo obtenido en la clasificación realizada automáticamente (f). Al poderse obtener todos estos valores de la carga transportada, se pueden determinar los errores tanto con respecto a la carga real (estática) transportada por los vehículos, como respecto a la carga dinámica real, obtenida a partir del peso suministrado por el sistema de pesaje dinámico y las taras reales.
- 2 En cuanto a los resultados obtenidos respecto a esta muestra de 30 vehículos, se puede ver que la relación entre la carga dinámica real y la carga estática real es de 1,083, que representaría el error debido al equipo de pesaje (es decir, un 8,3%). A continuación, las relaciones entre cualquiera de las dos cargas dinámicas estimadas utilizando las taras de la campaña de pesaje del CEDEX de 2003 (ya sea mediante la clasificación visual (real) o mediante la clasificación automática) con la carga real, nos dan el error total conjunto en que se ha incurrido, debido tanto a la imprecisión de la báscula de pesaje como al procedimiento aproximado de determinar la tara, y se puede ver que este error es de aproximadamente un 14,5% para ambas estimaciones de las taras. Por otro lado, si se calculan las relaciones (e) y (h) de las dos cargas dinámicas estimadas con las taras de la campaña de pesaje del CEDEX de 2003 (ya sea con el tipo real de vehículo o con el tipo obtenido con la clasificación automática) frente a la carga dinámica real (peso dinámico – tara real), se obtiene el error debido al procedimiento de asignación de la tara, que ha resultado ser muy parecido para ambas estimaciones de las taras, que resulta ser de un 5,7 % aproximadamente.

Tabla 37 Comparación de la exactitud en la determinación de las cargas transportadas en ambas muestras

Muestra	Carga real total = Σ (Peso estático – Tara real) (t)	Carga dinámica real = Σ (Peso dinámico – Tara real) (t)	Carga dinámica real / Carga real (estática)	Carga dinámica estimada con taras campaña CEDEX 2003 = Σ (Peso dinámico – Tara estimada) (t)	Carga dinámica estimada / Carga real	Carga dinámica estimada / Carga dinámica real	Carga dinámica estimada con taras campaña CEDEX 2003 según clasificación automática = Σ (Peso dinámico – Tara estimada automáticamente) (t)	Carga dinámica estimada automát./ Carga real	Carga dinámica estimada automáticamente / Carga dinámica real
	(a)	(b)	(b)/(a)	(c)	(d) = (c)/ (a)	(e) = (c) /(b)	(f)	(g) = (f)/(a)	(h) = (f)/(b)
30 vehículos pesados estáticamente	461,4	499,83	1,083	529,25	1,147	1,059	528,08	1,145	1,057
637 vehículos fotografiados	-	10.147,2		10.572,3	-	1,042	10.545,7	-	1,039

3. Respecto de la muestra amplia de 637 vehículos fotografiados, al no conocerse los pesos estáticos de estos, sólo se puede obtener como valor de referencia el peso dinámico real (b) de la carga transportada, resultante de restar para cada vehículo el peso dinámico menos la tara real. Por tanto, los otros valores estimados que pueden obtenerse, que son la carga dinámica estimada al asignar las taras del tipo de vehículo obtenido visualmente (c) y de la carga dinámica estimada al asignar las taras del tipo de vehículo obtenido en la clasificación realizada automáticamente (f), se deberán comparar con el peso dinámico real de la carga transportada (b).
4. En cuanto a los resultados obtenidos respecto a esta muestra de 637 camiones, tal como se ha comentado, no puede determinarse el error debido al equipo de pesaje, ya que no se ha podido pesar estáticamente a todos estos vehículos. No obstante, se puede decir sin temor a equivocarse demasiado, que al ser la composición de ambas muestras parecida, el error sería del mismo orden que el obtenido para la muestra reducida, es decir de entre el 8 % y el 9 %.
5. Como no se puede determinar el peso de la carga real total en esta muestra amplia de 637 camiones, el valor de referencia será la carga dinámica real (b) obtenida para el conjunto total de vehículos. La comparación de la carga dinámica estimada con taras de la campaña del CEDEX de 2003 y asignación mediante clasificación visual (c) con la carga dinámica real nos da un error (e) del 4,2 %, mientras que la comparación de la carga dinámica estimada y asignación de taras mediante clasificación automática (f) con la carga dinámica real nos da un error (h) de un 3,9%. Estos errores serían los debidos a las simplificaciones del método, y como se puede ver, son apreciablemente inferiores a los obtenidos para la muestra de 30 vehículos (un 5,9% y un 5,7%, respectivamente), **lo que indica que al aumentar el tamaño de la muestra, el error al estimar las cargas transportadas mediante el método tiende a reducirse**, lo que demostraría su validez.

6.2.7 Análisis de sensibilidad del método de estimación del peso de las cargas transportadas

Una vez expuestos los fundamentos del método de estimación del peso de la carga transportada por los vehículos y mostrados los principales resultados del ensayo de comprobación, es conveniente realizar un análisis de sensibilidad del método respecto de los parámetros en los cuales está basado y en los que existe mayor incertidumbre.

Estos parámetros cuyo valor puede variar en las diferentes circunstancias, por no ser muy conocidos o por ser muy difícil su ajuste, son los siguientes:

1. Los errores debidos al sistema WIM, que pueden ser a su vez de dos tipos:

- a. Los debidos a una incorrecta calibración del equipo, que introduce un sesgo (error sistemático) en los pesos dinámicos suministrados.
 - b. Los inherentes a la propia incertidumbre del aparato de medición, que se reflejan a través de la desviación típica de los errores.
- 2. Los posibles errores debidos a una mala estimación de los pesos medios de las taras de los diferentes vehículos.
- 3. Los errores debidos a las correcciones en la clasificación de los vehículos.

A continuación, se ha realizado un análisis de sensibilidad en el ámbito de la muestra reducida de 30 vehículos pesados estáticamente por la Guardia Civil, consistente en variar los valores de los parámetros que se acaban de mencionar con objeto de estimar el error que se podría cometer en esas circunstancias.

6.2.7.1 Influencia de la calibración del equipo

Como se explicó anteriormente, la calibración del sistema WIM que se consiguió realizar en el ensayo fue bastante pobre, pues el error relativo medio (sesgo) remanente tras la calibración de los pesos dinámicos fue de un 6,35%. Hay que decir que aunque teóricamente sea posible, en la práctica es muy difícil eliminar completamente el sesgo, pudiendo considerarse buena la aproximación cuando el error sistemático es menor del 2%.

Parece por tanto interesante estudiar qué precisión se habría obtenido al determinar las cargas transportadas mediante el método aproximado **si se hubiera conseguido calibrar correctamente el equipo** y se hubiera eliminado completamente el sesgo de las cargas dinámicas, es decir, se van a calcular cuáles habrían sido los resultados **si el error relativo medio en los pesos dinámicos hubiera sido nulo**.

Los resultados de la recalibración (Peso dinámico corregido) que habría que realizar para conseguir un error relativo medio (sesgo) nulo se muestran en la Tabla 38, en la que aparecen estos pesos dinámicos corregidos en la columna “Peso dinámico corregido”. En las siguientes columnas de la misma tabla, se comprueba el error que se obtendría al aplicar el método de estimación de las cargas transportadas con esos pesos recalibrados.

Tal como se observa en la Tabla 38, si el sistema hubiera estado calibrado correctamente, el error relativo que se hubiera obtenido en la estimación de suma total de las cargas transportadas hubiera sido un 2,78%, es decir, que reduciendo el sesgo del pesaje dinámico en un 6,35%, el error total del método para estimar las cargas disminuye aproximadamente un 11% (desde el 14% al 2,78%), con lo cual se puede concluir que una correcta calibración del pesaje dinámico es muy importante para que el método de estimación de la carga total transportada por un conjunto de vehículos sea suficientemente exacto.

Tabla 38. Cálculo del error en la estimación de la carga total transportada con una calibración correcta (error relativo medio de los pesos nulo)

Veh nº	Tipo de vehículo	Peso estático (kN)	Peso dinámico corregido (kN)	Error relativo	Tara real anotada (kN)	Carga real = Pest -Tara (kN)	Tara estimada campaña CEDEX (kN)	Carga estimada campaña CEDEX (kN)	Error Carga estimada Camp CEDEX 2003 (kN)	Error rel. Carga estim Camp CEDEX 2003
1	T2S3	378,37	341,31	-0,09795	155,98	222,39	143,90	197,41	-24,99	-0,1124
2	T2S3	415,01	386,51	-0,06868	165,67	249,34	143,90	242,61	-6,73	-0,0270
3	T2S3	281,55	283,19	0,00585	121,64	159,90	143,90	139,29	-20,61	-0,1289
4	T2S3	237,16	239,84	0,01131	162,86	74,30	143,90	95,94	21,63	0,2912
5	T2S3	341,83	317,32	-0,07169	168,05	173,78	143,90	173,42	-0,36	-0,0021
6	T2S3	326,72	317,32	-0,02876	160,88	165,84	143,90	173,42	7,58	0,0457
7	C2	113,35	127,30	0,12302	96,48	16,87	62,51	64,79	47,92	2,8398
8	C2	48,46	48,89	0,00885	42,48	5,98	62,51	-13,62	-19,60	-3,2759
9	T2S3	320,79	286,88	-0,10569	152,64	168,14	143,90	142,98	-25,16	-0,1496
10	T2S3	219,20	229,69	0,04784	169,80	49,40	143,90	85,79	36,39	0,7365
11	C2	110,56	121,76	0,10135	93,20	17,36	62,51	59,25	41,89	2,4126
12	T2S3	192,82	216,78	0,12427	154,31	38,50	143,90	72,87	34,37	0,8926
13	T2S3	394,56	387,43	-0,01806	125,67	268,89	143,90	243,53	-25,36	-0,0943
14	T2S3	418,64	354,22	-0,15388	165,79	252,85	143,90	210,32	-42,53	-0,1682
15	C2R2	305,68	290,57	-0,04942	183,84	121,84	126,72	163,86	42,02	0,3449
16	T2S3	388,82	360,68	-0,07237	157,30	231,52	143,90	216,78	-14,74	-0,0637
17	T2S3	292,83	310,87	0,06160	135,32	157,51	143,90	166,96	9,46	0,0600
18	T2S3	414,42	369,90	-0,10742	142,24	272,19	143,90	226,00	-46,19	-0,1697
19	T2S3	239,81	238,92	-0,00371	160,32	79,49	143,90	95,01	15,52	0,1953
20	C2	122,33	133,76	0,09340	109,77	12,56	62,51	71,25	58,69	4,6740
21	C3	256,29	250,91	-0,02099	104,57	151,71	111,70	139,21	-12,50	-0,0824
22	T2S3	314,07	299,80	-0,04543	137,14	176,92	143,90	155,90	-21,03	-0,1189
23	T2S3	307,84	298,88	-0,02911	160,15	147,69	143,90	154,97	7,28	0,0493
24	C2	143,81	154,97	0,07759	82,89	60,92	62,51	92,46	31,54	0,5178
25	T2S3	394,75	387,43	-0,01855	142,88	251,87	143,90	243,53	-8,34	-0,0331
26	T2S3	403,58	386,51	-0,04231	121,74	281,84	143,90	242,61	-39,24	-0,1392
27	T2S3	408,05	401,27	-0,01661	165,19	242,86	143,90	257,37	14,51	0,0597
28	T2S3	250,30	294,26	0,17563	141,07	109,23	143,90	150,36	41,13	0,3765
29	T2S3	403,83	436,32	0,08046	134,40	269,43	143,90	292,42	22,99	0,0853
30	T2S3	229,85	238,92	0,03945	135,03	94,81	143,90	95,01	0,20	0,0021
				Error relat. medio	Carga real total transportada	4525,97	Carga total estimada	4651,70		
				9,2981E-17	Error debido al equipo de pesaje (%)	-3,60	Error total (%)	2,78		
				Desv. típica 0,07905			Error método (%)	6,61		

Sin embargo, esa calibración correcta no se hubiera traducido en un aumento apreciable del porcentaje de vehículos individuales cuya carga transportada hubiera sido calculada con una precisión aceptable, considerando como tales a las calculadas con un error $< \pm 20\%$. Así, para ambas bases de datos de taras (campaña de pesaje del CEDEX y encuesta EPTMC), con la calibración correcta habría 20 vehículos (un 67% del total) cuya carga sería calculada con un error menor del 20%, es decir solamente un vehículo más que cuando el error sistemático de la calibración era del 6,35 %, mientras que todavía habría 4 vehículos cuya carga habría sido calcula con un error mayor del 100% (un vehículo menos que cuando el sesgo de los pesajes era el 6,35%).

6.2.7.2 Influencia de la precisión del equipo de pesaje

Se ha tratado de estimar la influencia de la precisión del sistema de pesaje dinámico en el error que se cometería al estimar las cargas transportadas por el conjunto de los vehículos de la muestra. La precisión de un equipo de pesaje dinámico viene dada por la repetibilidad de sus medidas, lo que se expresa normalmente en términos de la desviación típica porcentual del error relativo de éstas, de manera que cuanto menor es la desviación típica de los errores, mayor será la precisión del aparato de pesaje.

Para ello, se han realizado los cálculos anteriores, suponiendo que la desviación típica de los errores de las medidas es del 4,2%, es decir, la mitad del 8,4 % obtenido realmente con el equipo de pesaje, lo que supondría ascender de un sistema de pesaje dinámico de la categoría D, según las especificaciones Europeas del Pesaje en Movimiento del COST 323, a un sistema de alta precisión de la categoría B, en el cual aproximadamente un 95% de las medidas estarían dentro de un intervalo del $\pm 10\%$ de error.

Realizando unos cálculos similares a los que se exponen en la Tabla 38, se obtiene que, al contrario de lo que podría esperarse, tanto si se realizan los cálculos para el error relativo medio realmente obtenido (un 6,35%) como para un error relativo medio nulo, al disminuir a la mitad de desviación típica de las medidas aumenta ligeramente el error relativo total en la estimación del peso de la carga transportada, que pasaría del 8% al 10% para un error relativo medio del 6,35%, y del 2,78% al 4,58% para error relativo medio nulo.

Esta paradoja de que pueda aumentar el error en el cálculo de la carga transportada al aumentar la precisión del sistema de pesaje, se puede deber a que el error total se compone de la suma del error debido al aparato y del error debido a las simplificaciones del método y, en ocasiones las desviaciones de ambos métodos pueden tener un signo contrario que hagan que se reduzca el error total. En cualquier caso, la variación del error de la carga total no parece muy elevada (un 2%).

6.2.7.3 Influencia de la representatividad de la base de datos utilizada para estimar las taras medias de los vehículos

Tal como se ha explicado, el método de estimación de las cargas transportadas por los vehículos se basa en asignar como tara de cada vehículo pesado la tara media del tipo al que pertenece. A este respecto pueden darse varias inexactitudes:

- 1 Que las taras medias del parque de vehículos no hayan sido determinadas con suficiente exactitud
- 2 Que el tráfico de la carretera donde se instalan los equipos sea algo diferente del tráfico medio de la red o del parque de vehículos a partir del cual se obtuvieron las taras medias.

Es obvio que casi siempre se va a dar en un cierto grado la segunda fuente de inexactitud, pues es muy difícil que las características de los vehículos que constituyen el tráfico de una carretera particular coincidan en su totalidad con las del conjunto de la red o del país. Así, en el ensayo realizado, la tara real media de los 30 vehículos de la muestra fue de 134,49 kN, mientras que la tara media de esos mismos 30 vehículos obtenida de la base de datos de la campaña de pesaje realizada por el CEDEX entre 2000 y 2003 era de 127,2 kN, es decir, que la tara estimada media era aproximadamente un 5,4% inferior a la real.

Para tratar de valorar la influencia de la representatividad de la base de datos de taras en la determinación del peso de la carga total transportada, se ha procedido a realizar los cálculos suponiendo que el valor medio de los pesos de las taras asignadas coincidiera con el valor medio de los pesos de las taras reales registradas.

Por ello, se ha multiplicado primeramente los pesos de las taras estimadas por el factor que hace que se iguale su valor medio con el valor medio de la tara real de los vehículos de la muestra. Una vez aplicado el método con estas nuevas taras estimadas a los pesos dinámicos corregidos para que su error relativo medio respecto a los pesos reales sea 0, se obtiene que, el error relativo total en la determinación de la suma total de las cargas transportadas pasa de un 2,78 % por exceso a un 3,6% por defecto, siendo en este caso el error debido al método de un valor nulo (pues lo que se ha hecho realmente es imponer la condición de que el error medio del método sea nulo), con lo cual no existe compensación en este caso entre el error debido al aparato y el error del método, coincidiendo el error total con el error debido al sistema WIM.

Por tanto, la influencia de la representatividad de la base de datos de taras utilizada puede ser muy apreciable (aunque en este caso no lo parezca, por haber cambiado el error de signo), pues ha variado el error total cometido en un 6,4%. En un caso más extremo en que la diferencia entre las taras medias de la base de datos con las taras medias reales del tráfico en el lugar fuera mayor, por ejemplo un 10%, el sesgo introducido en la carga total transportada aumentaría aproximadamente esta cifra, que además podría sumarse al sesgo introducido por el sistema de pesaje dinámico.

6.2.7.4 Influencia del error en la clasificación automática de los vehículos

Tal como se ha mostrado en la Tabla 24, las pequeñas incorrecciones que ha cometido el programa de clasificación de los vehículos al obtener la composición del tráfico pesado (1 vehículo de los 30 de la muestra reducida fue clasificado erróneamente) no se han traducido en un aumento apreciable del error en el peso de la carga total transportada por el conjunto de vehículos de la muestra, pues la variación obtenida en el peso total de la carga transportada fue aproximadamente del 1%, tanto para la base de datos de la campaña de pesaje 2003 del CEDEX como para la base de la EPTMC de 2013, en un caso por defecto y en otro por exceso.

Tratando de hacer una generalización de los anteriores resultados a otros posibles errores de clasificación, se podría decir que, normalmente, estos errores de

clasificación automatizada de vehículos no van a influir demasiado en la estimación del valor total de las cargas transportadas y, sobre todo, que no va a incrementarlo apreciablemente, debido a que, normalmente, los errores de clasificación de los vehículos se producen por clasificar un vehículo de un tipo determinado en otro de características muy parecidas, por lo que ambos tipos suelen tener taras bastante similares, con lo cual no se introduce un error adicional apreciable al asignar la tara del tipo equivocado, siempre que éste sea muy próximo.

La fuente más típica de errores de clasificación suele consistir en clasificar a un vehículo articulado de 5 ejes tipo T2S3 (cuya tara media es 143,90 kN, según base de datos de la campaña del CEDEX) que circula con algún eje del semirremolque elevado del pavimento, en un articulado con cabeza tractora de 4 ejes tipo T2S2, cuya tara media (138,17 kN) es sólo un 4% inferior aproximadamente a la del T2S3, por lo que la carga calculada será algo superior a la real.

Otro caso típico de error en clasificación ha sido el que ha tenido lugar en este ensayo cuando se clasificó un tren de carretera de 4 ejes del tipo C2R2 como si fuera un articulado de 4 ejes del tipo T2S2, cuyas taras difieren en un 9%. Otro error normal sería clasificar a un autobús de 2 ejes como un camión del mismo número de ejes, cuyas taras tampoco difieren demasiado.

6.2.8 Mejora potencial del método de estimación de la carga transportada a través de utilizar unas taras medias obtenidas directamente de los pesajes en la carretera

Mediante el experimento de la toma de datos de pesos dinámicos y estáticos de vehículos realizado en la A-2 en Trijueque se ha demostrado que con el método automático de estimación de las cargas transportadas desarrollado en esta Tesis se puede determinar el peso de la carga total transportada por cualquier número de vehículos (por ejemplo, por el conjunto del tráfico pesado que circula durante un cierto tiempo por una carretera determinada) utilizando un sistema de pesaje dinámico, con una precisión total bastante aceptable, que podría cifrarse aproximadamente en un 5 % por defecto o por exceso, más una cierta componente de error debida tanto al sesgo como a la incertidumbre de las medidas del sistema de pesaje, que puede variar bastante, pero que incluso para aparatos deficientemente calibrados y de una precisión intrínseca media tirando a baja, como el utilizado en este experimento, difícilmente puede llegar a superar un 10% adicional.

El reducido valor de la componente del error debida a las simplificaciones del método se basa tanto en una correcta clasificación automática de los vehículos como en una adecuada estimación de sus taras. De lo primero se encarga el sistema de clasificación automática desarrollado en la primera parte de esta Tesis, aunque hay que señalar que incluso aunque la clasificación no sea muy afinada, normalmente no se incrementará el error en gran medida, siempre que los fallos de clasificación no sean muy groseros, pues como se ha visto en el experimento realizado en Trijueque, lo más corriente es que estos fallos consistan en clasificar un vehículo de un tipo determinado en otro tipo

bastante parecido, con una tara similar, lo que no suele significar un aumento de la magnitud total del error.

En cuanto a la adecuada estimación de las taras medias de los vehículos, se ha visto en el experimento que la utilización de distintas bases de datos generales de taras de los vehículos, como pueden ser la del Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico o la de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera, conducen a resultados parecidos, normalmente bastante aceptables, para carreteras de tráfico mixto representativas de algunas de las categorías típicas del tráfico de nuestro país.

Sin embargo, el error podría aumentar apreciablemente si las características de los vehículos pesados predominantes en el tráfico de una carretera determinada se apartan de las características típicas de un tráfico mixto representativo de la media nacional, lo que puede ocurrir con cierta frecuencia en vías en las que predomina algún tipo particular de camiones por causa de la naturaleza de las actividades económicas de la zona atravesada por la carretera o de las zonas que constituyen el origen o destino ésta vía. Un caso típico de este tipo de carreteras son las que sirven de acceso o están situadas en zonas de minas o canteras, pues las taras medias de los vehículos utilizados en este tipo de transporte (normalmente grandes camiones rígidos de 2 ó 3 ejes) suelen ser más altas que las taras medias para estos tipos de vehículos en el tráfico general.

Por tanto, en estos casos sería de gran ayuda contar con un método de estimación de las taras basado directamente en los datos suministrados por el sistema de pesaje dinámico instalado en la carretera en cuestión, de forma que a través de los datos suministrados por éste se puedan atisbar ciertas características definitorias de los vehículos de un tipo determinado de transporte. Pues bien, para este propósito fueron desarrollados los procedimientos descritos en un estudio francés, realizado por F. Schmidt y B. Jacob [40], y en otro norteamericano llevado a cabo por S. Hernández [41], ambos expuestos en el Apartado 4.4, los cuales abordan la determinación de las taras directamente de los pesos suministrados por el sistema de pesaje dinámico para cada tipo de vehículo.

Comenzando por el estudio realizado por S. Hernández, en éste se trataba de realizar una clasificación extremadamente detallada de los vehículos, que pudiera diferenciar dentro de cada tipo de vehículo (por ejemplo, los articulados de 5 ejes), los dedicados específicamente a diferentes tipo determinados de transporte, para lo que se utilizaba, además de los datos suministrados por un sistema de pesaje dinámico, los proporcionados por la tecnología de los lazos de inducción con una tasa de registro aumentada, que permite determinar la presencia de los diferentes cuerpos o volúmenes (por ejemplo, una cisterna, una plataforma, un contenedor, etc) que componen un vehículo. Posteriormente, con los pesos de los vehículos de cada tipo determinado con las herramientas mencionadas se calculaban las distribuciones de frecuencias de pesos totales del tipo en cuestión, que como se ha comentado, son unas distribuciones bimodales. Estas distribuciones bimodales se aproximaban mediante dos distribuciones normales, una para los vehículos que circulaban en vacío y otra para los que circulaban cargados, escogiéndose como tara media del tipo de

vehículo en cuestión el valor de peso para el que se produce el máximo de la distribución normal de los vehículos vacíos.

Este método llevado a cabo en el estudio americano precisa utilizar, tal como se ha dicho, una moderna técnica de registro muy detallado de las señales proporcionadas por los lazos de inducción, por lo que no se puede aplicar directamente cuando se utiliza únicamente un sistema de pesaje dinámico para obtener los datos de los vehículos. Sin embargo, el método francés precisa solamente utilizar sistemas de pesaje dinámico para clasificar los vehículos en los tipos corrientemente incluidos en los esquemas de clasificación de las administraciones de carreteras, y consiste en que, una vez obtenidas las distribuciones de frecuencias de los pesos brutos de los vehículos de cada tipo, se considera que **la población de vehículos vacíos son todos los que su peso está por debajo del percentil 5 de la distribución del peso bruto registrado** por el sistema de pesaje para los vehículos de ese tipo y se **asigna como valor de la tara media del tipo en cuestión al valor promedio de los pesos brutos registrados por debajo de ese percentil 5.**

Las ventajas de utilizar tal procedimiento para estimar las taras medias de los vehículos de cada tipo son evidentes, pues, además de la simplicidad del método, permitiría ajustar estos valores a los de los pesos de los vehículos específicos que circulan realmente por una determinada carretera, en vez de utilizar unos valores medios nacionales. El principal inconveniente de este procedimiento radica en que, para los tipos de vehículos menos frecuentes, a veces será difícil obtener un registro suficientemente amplio de vehículos de esos tipos como para determinar de forma fiable el valor de las taras medias de los tipos en cuestión, lo que puede ocurrir especialmente en carreteras con un tráfico pesado reducido, que, por otro lado, son las vías en las que puede existir un tráfico pesado de características netamente diferentes del tráfico medio de la red de carreteras y en las que, por tanto, sería más útil aplicar este método.

Pues bien, como las ventajas de utilizar tal método superan en gran medida a los inconvenientes, se ha explorado la posibilidad de utilizarlo. Para ello, partiendo de los datos de los vehículos registrados en la muestra amplia de más de 600 camiones tomada en el ensayo de Trijueque y cuyas taras reales fueron proporcionadas por la Dirección General de Tráfico, se ha procedido a calcular, para los tipos más comunes de camiones, el valor promedio de los pesos por debajo de varios percentiles bajos (percentil 5, 10, 15 y 20) de los pesos de los vehículos de esos tipos registrados por el sistema de pesaje dinámico y se han comparado con los valores medios de las taras reales de los vehículos de cada tipo suministradas por la Dirección General de Tráfico, así como con las taras medias obtenidas de las bases de datos del tráfico pesado utilizadas en los apartados anteriores (campaña del CEDEX, EPTMC y Registro General de Vehículos), resultando los valores que se muestran en la Tabla 39.

Como se puede ver en dicha Tabla, en que aparece sombreado para cada tipo de vehículo el valor medio de los pesos por debajo del percentil que se aproxima más a las taras reales medias suministradas por la DGT, para los camiones rígidos de 2 ejes es el valor medio hasta el percentil 20 de los pesos totales registrados el que se aproxima más a la tara real media del tipo, pero todavía inferior en unos 1.100 kg, para los

rígidos de 3 ejes es el valor medio de los pesos hasta el percentil 10, mientras que para los articulados de 5 ejes y trenes de 4 ejes es el valor medio de los pesos hasta el percentil 5 de los pesos totales registrados el que se aproxima más a la tara real media del tipo en cuestión, pero superándola ampliamente (en varios miles de kg).

Tabla 39 Comparación de los valores de varios percentiles de los pesos registrados en báscula con las taras medias reales y las taras medias provenientes de tres fuentes de datos diferentes (Campaña CEDEX, EPTMC y Registro General de Veh.)

Tipo de vehículo	Nº de veh.	Peso registrado por la báscula dinámica (kg)				Tara real media	Taras medias		
		Valor medio hasta percentil 5	Valor medio hasta percentil 10	Valor medio hasta percentil 15	Valor medio hasta percentil 20	(kg)	Campaña CEDEX (kg)	EPTMC 2103 (kg)	RGV-DGT (kg)
Rígidos de 2 ejes	57	5.200	5.783	6.456	7.042	8.148	6.372	7.905	6.416
Rígidos de 3 ejes	17	11.500	12.600	13.067	13.400	12.418	11.386	12.250	12.913
Articulados de 5 ejes	537	18.037	19.392	20.444	21.337	15.067	14.669	14.524	14.886
Tren de 4 ejes	25	18.000	18.950	19.775	20.080	16.747	12.917	17.316	12.954

El estimador del percentil 5 como tara media del tipo es particularmente deficiente en el caso de los vehículos más numerosos, los articulados de 5 ejes, precisamente donde debería haber sido más exacto este estimador, pues la diferencia con las taras reales es de unos 3.000 kg. De hecho, ningún vehículo de los 537 registrados tuvo un peso por debajo de la tara media real. Un primer examen de esto podría atribuir parcialmente tal diferencia a que debido al sesgo positivo de los pesos suministrados por el sistema de pesaje dinámico (un 6% aproximadamente) estos pesos estuvieran sobreestimados en ese porcentaje por el equipo. Sin embargo, si se corrigen los pesos dinámicos en esa cantidad, sigue resultando una cifra muy superior a la tara media real. Por tanto, la única explicación de este hecho sería que los vehículos articulados de 5 ejes cuando viajan por carreteras con tráfico predominante de largo recorrido (como lo es la A-2 en el pk 82, donde se tomaron los datos), prácticamente nunca van vacíos y siempre llevan algún tipo de carga.

Esta conclusión queda reforzada cuando se observa que este hecho se da también con el otro vehículo de transporte de largo recorrido, el tren de 4 ejes. Sin embargo, esto invalidaría el poder determinar las taras de los vehículos directamente de los pesajes

de la carretera, debido a que en algunos tipos de vehículo, al menos en este punto de esta carretera, prácticamente ninguno circula descargado, con lo cual no se podrá determinar la tara del tipo a partir de los datos de los pesos de los vehículos en la carretera.

6.2.9 Adaptación del procedimiento desarrollado al cálculo de los efectos de las cargas sobre los firmes

6.2.9.1 Consideraciones generales

La aplicación más conocida del pesaje de vehículos en movimiento es la obtención de las cargas debidas al tráfico para el dimensionamiento de firmes viarios. En este caso no es necesario ni tiene importancia conocer o estimar la tara del vehículo, pues el efecto causado sobre el firme se debe al peso total de éste, es decir, al conjunto de tara+carga transportada. Los sistemas de pesaje dinámico proporcionan de forma directa este dato de todos los vehículos que circulan sobre los sensores del equipo de pesaje, tanto los pesos de cada uno de los ejes como el peso bruto total del vehículo.

No obstante, varias de las cualidades del procedimiento desarrollado en esta Tesis para la estimación de las cargas transportadas por los vehículos pueden ayudar a mejorar también algunos aspectos de la determinación de los efectos o deterioros causados por los ejes de los vehículos sobre los firmes. Así, las ventajas que puede proporcionar la aplicación del método de determinación de las cargas transportadas al dimensionamiento de firmes tienen que ver con los siguientes aspectos:

1. La correcta clasificación de los vehículos que proporciona el método. En el dimensionamiento de firmes lo más importante no son los vehículos propiamente dichos, sino los ejes de estos vehículos, pues son los que ejercen las cargas sobre los firmes. Por tanto, en una primera impresión, si un vehículo de n ejes circula con algún eje levantado, en cuanto a su efecto sobre los firmes, en teoría, sería como si se tratara de un vehículo de $n-1$ ejes.

Sin embargo, aun siendo cierto lo anterior, muchas veces interesa establecer una equivalencia de los vehículos de cada tipo en ejes patrón, por lo cual es de gran importancia una correcta determinación del tipo real de vehículo de que se trate. Como no se pueden instalar equipos de pesaje dinámico en todos los tramos de una red de carreteras, en muchos lugares sólo será posible conocer una cierta clasificación, más o menos detallada, obtenida a partir de equipos de aforo, por lo que interesa establecer la equivalencia de cada tipo concreto de vehículo en ejes estándar (o el deterioro medio ocasionado por cada uno de los tipos), para determinar el tráfico equivalente: en función de un aforo y de una clasificación de vehículos proporcionada por equipos de aforo usuales o por sistemas de pesaje dinámico poco perfeccionados, basándose en la equivalencia media de los vehículos de cada tipo en ejes estándar o patrón, se puede calcular el

número de ejes patrón (y, por tanto, el número de vehículos de cada tipo) que debe ser soportado por el firme proyectado.

Este procedimiento se ha seguido en los métodos de dimensionamiento utilizados en Francia y Gran Bretaña en la década de los años 70 y 80 [48].

2. La estimación del error que se comete al determinar los ejes equivalentes (o el deterioro medio ocasionado) mediante pesaje dinámico. Así, aunque los sistemas de pesaje dinámico suministran directamente los pesos de los ejes de los vehículos, debido a la incertidumbre en las medidas proporcionadas por estos equipos de pesaje, se comete siempre un cierto error al determinar estos pesos. Estos errores en el peso dinámico de los ejes pueden incrementar notablemente los errores al obtener los valores de las variables que definen el comportamiento de los firmes y que entran en los métodos de dimensionamiento.

Mediante el ensayo de comprobación realizado en la A-2 en Trijueque, se ha podido conocer **el efecto que tiene la precisión de los pesajes dinámicos en la determinación del efecto destructivo** de un espectro de cargas de distinta magnitud (determinación de ejes equivalentes) cuando se sigue la fórmula del ensayo AASHO u otra similar. De la misma manera, si se sigue un método de dimensionamiento mecánico-empírico, se podría evaluar la influencia de la precisión de los pesajes dinámicos en la determinación de los deterioros parciales producidos y, en definitiva en la estimación de la vida útil del firme.

6.2.9.2 Comprobación de la influencia de la precisión del pesaje en el número de ejes equivalentes en el ensayo realizado en la A-2 en Trijueque

En el ensayo realizado en junio de 2015 en la autopista A-2, pk. 82, en Trijueque (Guadalajara), cuyo objetivo principal era comprobar la precisión del método de estimación de la carga transportada, también se trató de comprobar el efecto de la exactitud y precisión del pesaje dinámico en la estimación del número de ejes equivalentes que debe soportar el firme de una carretera (y, por tanto de su vida útil). Este estudio aparece detallado en el artículo [22], firmado por el autor de esta Tesis, de título “Aplicación del pesaje en movimiento al dimensionamiento de firmes. Influencia de la precisión de los pesajes”, publicado en la revista *Informes de la construcción*, nº 545, enero-marzo 2017.

Como se ha explicado en apartados anteriores, la Guardia Civil desvió a una pequeña muestra (representativa del tráfico pesado en la autovía) de 30 vehículos pesados que previamente habían circulado sobre el sistema de pesaje dinámico a su velocidad normal de recorrido, hacia una báscula de pesaje estático perteneciente al Ministerio de Fomento, situada unos 500 m más allá, con objeto de contrastar los pesos suministrados por el sistema de pesaje dinámico con los dados por la báscula estática, que se pueden considerar como reales.

6.2.9.2.1 Datos y cálculos previos realizados para la comprobación

Respecto de los vehículos de la muestra que fueron desviados para su pesaje estático por la Guardia Civil, se obtuvieron los siguientes datos y cálculos inmediatos, que sirven de base para la comprobación:

1. Peso dinámico calibrado (P_{din}) suministrado por el equipo de pesaje dinámico para cada uno de los vehículos.
2. Peso estático real (P_{est}) proporcionado por la báscula de pesaje estático para cada uno de los vehículos de la muestra.
3. Clasificación automática (en tipos) de los vehículos de la muestra a partir de los datos suministrados por el sistema de pesaje dinámico, mediante un programa desarrollado al efecto.
4. Clasificación real (en tipos) de los vehículos de la muestra, obtenida visualmente

En la Tabla 26 (Errores relativos del sistema de pesaje dinámico obtenidos en el experimento) se han mostrado todos estos datos y cálculos de cada vehículo de la muestra, incluyendo el tipo de vehículo, el peso estático proporcionado por la báscula fija, el peso dinámico (ya corregido con el factor de calibración) suministrado por el equipo de pesaje dinámico y el error relativo obtenido en la medición del peso de cada uno de los vehículos.

6.2.9.2.2 Cálculo de la exactitud y precisión del sistema de pesaje en movimiento

Una vez obtenidos o determinados los anteriores datos o parámetros de los vehículos pesados, se realizaron los siguientes cálculos para determinar el sesgo y la dispersión de las medidas de los pesos proporcionadas por el sistema WIM, obteniéndose, como ya se ha comentado en el Apartado 6.2.3, un valor promedio de todos los errores relativos en el ensayo del 6,35%, que representa el sesgo medio (%) del sistema de pesaje dinámico. También se ha determinado la desviación típica de los errores relativos obtenidos para cada vehículo, que representa la precisión del sistema de pesaje instalado en el firme de este emplazamiento, y que ha sido del 8,41 %.

6.2.9.2.3 Cálculo del factor de equivalencia

Se han realizado los cálculos del factor de equivalencia, tanto en ejes de 128 kN (antiguo límite legal de peso para los ejes simples en España) como en ejes de 113 kN (actual límite legal en España), de cada vehículo de la muestra utilizando la fórmula del ensayo AASHO, tanto para un exponente 4 (firmes flexibles) como para un exponente 8 (firmes semirrígidos) y se ha hallado el factor de equivalencia medio por vehículo pesado en ambos casos, utilizando las dos series de datos siguientes:

- los pesos obtenidos mediante pesaje estático (Tabla 40), que sirven de referencia.

- los pesos por eje de cada vehículo y las distancias entre los distintos ejes individuales (con objeto de determinar si forman un eje tándem o trídem) proporcionados por el sistema de pesaje dinámico (Tabla 41).

Para el cálculo se ha utilizado la equivalencia de que cada eje tándem equivale a 1,4 ejes simples de peso $P/2$ y cada eje trídem equivale a 2,325 ejes simples de peso $P/3$.

En las Tablas 40 y 41 se muestran los resultados de los cálculos del factor de equivalencia obtenidos con ambas series de datos (pesos estáticos y dinámicos), incluyendo las diferencias existentes entre la clasificación real de los vehículos y la proporcionada automáticamente por el equipo de pesaje dinámico, utilizando el procedimiento de clasificación desarrollado.

Tabla 40. Factores de equivalencia calculados en el ensayo con los datos de los pesajes estáticos

Estación: Trijueque (Guadalajara) A-2 p.k. 82 Fecha: Junio 2015 MUESTRA DE VEHICULOS TOMADOS POR LA GUARDIA CIVIL EN BASCULA FIJA											
Factor de equivalencia de vehículo pesado con EJES COMPLETOS											
TIPO	SILUETA OBTENIDA POR ELABORACION EXCEL	Descripción	Eje tipo=128 kN		Eje tipo=113 kN		Silueta calculada	Σ ejes equivalentes (128 kN)		Σ ejes equivalentes (113 kN)	
			α = 4	α = 8	α = 4	α = 8		α = 4	α = 8	α = 4	α = 8
1		Ligeros									
2		Rígidos 2 ejes	0,11	0,02	0,18	0,05	4	0,4	0,1	0,7	0,2
3		Rígidos 3 ejes	0,26	0,05	0,43	0,13	2	0,5	0,1	0,9	0,3
4		Rígidos 4 ejes									
5		Articulados 4 ejes	0,72	0,31	1,18	0,84	1	0,7	0,3	1,2	0,8
6		Articulados 5 ejes	0,66	0,41	1,08	1,10	23	15,2	9,5	24,8	25,2
7		Articulados 6 ejes									
8		Trenes									
9		Autocares									
Vehículos pesados en la población total							30	16,9	10,0	27,5	26,5
Factor de equivalencia de vehículo pesado en el conjunto de la estación (cálculo con ejes completos)											
Factor de equivalencia para α=4 y eje tipo de 128 kN						0,56					
Factor de equivalencia para α=8 y eje tipo de 128 kN						0,33					
Factor de equivalencia para α=4 y eje tipo de 113 kN						0,92					
Factor de equivalencia para α=8 y eje tipo de 113 kN						0,88					

Como se puede ver, las diferencias entre los valores de ejes equivalentes dados por cada una de las tablas, son apreciablemente diferentes, especialmente en los tipos de vehículo donde ha existido un error de clasificación (los rígidos de 2 y de 3 ejes), pues al considerar erróneamente un vehículo de tres ejes (que posiblemente circularía descargado y con un eje levantado) como uno de 2 ejes, se incrementa en gran medida el factor de equivalencia medio de los camiones rígidos de 2 ejes, y también se incrementa el factor de equivalencia de los vehículos de 2 ejes, al ser considerados como tales solamente los que no llevan un eje levantado y, por ello, posiblemente circular cargados.

Tabla 41. Factores de equivalencia calculados en el ensayo con los datos de los pesajes dinámicos

Estación: Trijueque (Guadalajara) A-2 p.k. 82 Fecha: Junio 2015 MUESTRA DE VEHICULOS TOMADOS POR LA GUARDIA CIVIL EN BDP											
Factor de equivalencia de vehículo pesado con EJES COMPLETOS			Eje tipo=128 kN		Eje tipo=113 kN		Silueta calculada	Σ ejes equivalentes (128 kN)		Σ ejes equivalentes (113 kN)	
TIPO	SILUETA OBTENIDA POR ELABORACION EXCEL	Descripción	α = 4	α = 8	α = 4	α = 8		α = 4	α = 8	α = 4	α = 8
1		Ligeros									
2		Rígidos 2 ejes	0,20	0,05	0,33	0,13	5	1,0	0,2	1,7	0,7
3		Rígidos 3 ejes	0,57	0,16	0,93	0,43	1	0,6	0,2	0,9	0,4
4		Rígidos 4 ejes									
5		Articulados 4 ejes	0,64	0,21	1,04	0,57	1	0,6	0,2	1,0	0,6
6		Articulados 5 ejes	0,76	0,49	1,24	1,30	23	17,5	11,2	28,6	29,8
7		Articulados 6 ejes									
8		Trenes									
9		Autocares									
Vehículos pesados en la población total							30	19,7	11,8	32,2	31,5
Factor de equivalencia de vehículo pesado en el conjunto de la estación (cálculo con ejes completos)											
Factor de equivalencia para α=4 y eje tipo de 128 kN						0,66					
Factor de equivalencia para α=8 y eje tipo de 128 kN						0,39					
Factor de equivalencia para α=4 y eje tipo de 113 kN						1,07					
Factor de equivalencia para α=8 y eje tipo de 113 kN						1,05					

6.2.9.3 Resultados obtenidos

A la vista de los resultados, puede comprobarse que el factor de equivalencia por vehículo pesado para un valor del exponente $\alpha = 4$, calculado utilizando los pesos obtenidos mediante pesaje dinámico, ha sido de 0,66 ejes equivalentes de 128 kN por vehículo pesado, que ha resultado ser casi un 18% mayor que el que se ha obtenido utilizando los pesos medidos mediante básculas estáticas (0,56 ejes equivalentes de 128 kN). Para un valor del exponente $\alpha = 8$, el factor de equivalencia medio obtenido mediante los pesajes en movimiento ha sido igualmente un 18% mayor que el que se ha obtenido con los pesajes estáticos (0,39 ejes equivalentes frente 0,33 mediante pesajes estáticos).

Por tanto, el error en el que se ha incurrido al determinar los pesos de los vehículos mediante pesaje dinámico, que como se ha visto ha tenido un sesgo de un 6,35 % por exceso y una dispersión del 8,41%, se ha magnificado al utilizar la expresión potencial obtenida en el ensayo AASHO, resultando un error del 18% por exceso en la determinación del coeficiente de equivalencia medio de los vehículos y, por tanto, del número total de aplicaciones de la carga tipo de 128 kN, lo que viene a significar que con ello se estaría infraestimando la vida útil del firme en ese porcentaje del 18 %, dado que ésta se estima en función del número de aplicaciones de la carga tipo que puede resistir el firme.

Sin embargo, el error total obtenido en la determinación de la vida de servicio es apreciablemente menor que el que podría estimarse por las consideraciones estadísticas dadas en [49], relativas al sesgo adicional introducido por el error relativo medio y la dispersión de las medidas del sistema de pesaje dinámico, debido a la incertidumbre de las medidas provocada por las oscilaciones inducidas en la

suspensión de los vehículos por las irregularidades de los pavimentos, que vendría dado por la fórmula (4):

$$\varepsilon = [(1+b)^{\alpha} - 1] + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2} \cdot (1+b)^{\alpha-2} \cdot \sigma^2 \quad [4]$$

Siendo:

ε : error relativo medio en la estimación del deterioro total (o en la vida de servicio) del firme

b : error relativo medio de las mediciones del sistema de pesaje

σ : desviación típica de las medidas del sistema de pesaje

α : exponente de la ley de fatiga ($\alpha= 4$ para firmes flexibles, $\alpha= 8$ para firmes semirrígidos)

Así, si se entra en la fórmula anterior con los valores $b = 0,0635$ y $\sigma = 0,0841$, se obtendría que, por ejemplo, para firmes flexibles ($\alpha= 4$) el error en la vida de servicio del firme sería del 32,7 %, y la diferencia sería aún mayor para firmes semirrígidos.

Con objeto de ver la causa de esta diferencia, se ha realizado un breve análisis de sensibilidad del cálculo de los ejes equivalentes obtenidos en el ensayo, comprobándose que los valores resultantes son muy dependientes del error que se haya cometido al determinar los pesos dinámicos de los vehículos más cargados. Por ello, como los sistemas de pesaje dinámico normalmente determinan con mayor exactitud los pesos de los vehículos más cargados, el error realmente obtenido ha sido menor que el esperado.

6.2.9.4 Influencia de la precisión del pesaje en movimiento en el dimensionamiento mecánico-empírico de firmes

Todo lo tratado en el apartado anterior de refiere a la aplicación del pesaje en movimiento para la determinación de los efectos de las cargas sobre el firme siguiendo el planteamiento basado en la equivalencia desarrollada en el ensayo AASHO. Sin embargo, la tendencia más actual encaminada al empleo de métodos mecánico-empíricos de dimensionamiento de firmes, como es la propuesta en la Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) [50] de la AASTHO, sigue un planteamiento basado en describir el tráfico en términos del número de ejes por tipos y las distribuciones de frecuencias de los pesos de cada tipo de eje, calculándose el grado de deterioro específico ocasionado por los ejes de cada peso. Por ello, numerosos autores se han centrado en evaluar la influencia de los errores en la determinación del espectro completo de cargas mediante pesaje en movimiento sobre la estimación de la vida de servicio de los firmes utilizando los principios mecánico-empíricos.

En dos estudios, uno llevado a cabo por SW. Haider et al [51] y otro por R. Tarefder et al. [52], se ha investigado el impacto de los errores de los pesajes dinámicos (y por tanto de los espectros de cargas por eje) sobre el comportamiento de pavimentos

tanto flexibles como rígidos, mostrando en ambos estudios que la fisuración es el deterioro más afectado por las variaciones en los espectros de cargas, tanto en firmes flexibles como rígidos, mientras que también queda afectada de forma moderada la formación de roderas en pavimentos flexibles y no observándose ningún efecto apreciable sobre la regularidad superficial.

6.3 Discusión general de resultados

En este apartado se va a hacer un resumen y discusión de los principales resultados obtenidos, con el objetivo de que sirvan de base para llegar a las conclusiones de la Tesis.

Tal como se ha comentado en apartados anteriores, como medio para desarrollar el método de determinación automática de la carga transportada, se ha elaborado un procedimiento de clasificación enteramente automatizada de los vehículos basado, como la mayor parte de los sistemas existentes, en función del número de ejes, de la separación entre estos y de la longitud del vehículo. No obstante, con objeto de poder registrar en su tipo correcto principalmente a los vehículos que circulan con algún eje levantado (en vez de en el tipo correspondiente al del número de ejes que llevan apoyados en el pavimento), se han incluido otros parámetros de clasificación, principalmente el peso del vehículo.

Tras una primera elaboración en gabinete basándose en datos provenientes de la última campaña de pesaje dinámico del CEDEX, se realizó una primera toma de datos en la carretera, en la A-1, pk 41, a la altura de El Molar, con objeto de adaptar los límites inicialmente establecidos de los parámetros de clasificación a las condiciones del tráfico actual, obteniéndose un error total de clasificación del 3,9%.

Una vez efectuadas las oportunas correcciones y fijados unos nuevos umbrales o límites para los parámetros de clasificación, se realizó una toma de datos del tráfico en la carretera (en la A-2, pk 81, en Trijueque (Guadalajara)) para contrastar la precisión de la clasificación obtenida con el procedimiento automático finalmente establecido en relación con la clasificación realizada visualmente por varios operarios entrenados, que puede considerarse como la real. El resultado obtenido arroja un porcentaje de vehículos clasificados erróneamente de aproximadamente un 4%, lo que significa una **tasa de clasificación correcta** (calculada como el número de vehículos clasificados correctamente dentro de cada clase, divididos por el número de vehículos totales de la clase en cuestión) del 96%, lo que demuestra la exactitud y fiabilidad del procedimiento desarrollado (véase la Tabla 25), aunque en alguna clase con un número reducido de vehículos el error de clasificación pueda ser mayor.

De entre los vehículos más típicos, el que puede registrar un error mayor de clasificación es el camión rígido de 2 ejes, pues en zonas periurbanas, algunos furgones o camiones ligeros muy cargados pueden ser clasificados como camiones rígidos de 2 ejes.

Tal como se ha comentado, el método de determinación automática del peso de la carga transportada que se ha desarrollado en esta Tesis se basa en restar del peso total registrado por el sistema de pesaje para el vehículo, la tara media del tipo en que ese vehículo puede ser clasificado automáticamente por el sistema de pesaje dinámico.

Para conocer las taras medias de cada tipo de vehículo se ha acudido a varias fuentes o bases de datos de las características de los vehículos pesados: la Campaña de pesaje dinámico del CEDEX realizada en la Red de Carreteras del Estado, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera y el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico.

En la Tabla 42 se muestran las taras medias para cada tipo de vehículos de cada una de las bases de datos anteriores. También se han obtenido datos de los fabricantes de camiones, remolques y semirremolques, pero se ha considerado impracticable para el propósito de esta Tesis obtener las taras medias del parque de vehículos a partir de los datos de los fabricantes, pues para ello habría que disponer de datos de las ventas anuales de cada tipo de vehículo y de las proporciones de las distintas carrocerías (volquetes, portacontenedores, frigoríficos, además de la tasa de renovación del parque).

Tabla 42 Resumen de taras medias de cada tipo de vehículos según la Campaña de pesaje dinámico del CEDEX en la RCE entre 2000 y 2003, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013 y el Registro General de Vehículos de 2017.

	Campaña CEDEX 2000-2003	Encuesta PTMC 2013	Registro General Vehículos 2017
Tipos de vehículos	Tara media (kN)	Tara media (kN)	Tara media (kN)
Camión 2 ejes	62,51	77,55	62,91
Camión 3 ejes	111,70	120,17	126,67
Camión 4 ejes	136,53	141,22	142,01
Camión más de 4 ejes		108,43	
Tractor 2 ejes + semirremolque 1 eje	133,79		
Tractor 2 ejes + semirremolque 2 ejes	138,17	128,35	
Tractor 2 ejes + semirremolque 3 ejes	143,90	142,48	146,03
Tractor 3 ejes + semirremolque 2 ejes	169,22	90,97	
Tractor 3 ejes + semirremolque 3 ejes		138,48	
Tractor + semirremolque: otras comb.		148,41	
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 1 eje		78,48	
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 2 ejes	126,72	169,87	127,08
Tren: Camión 2 ejes-Remolque 3 ejes	129,36	173,73	
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 2 ejes	155,72	174,14	190,92
Tren: Camión 3 ejes-Remolque 3 eje	159,05	180,97	
Tren. Camión y remolque: otras comb.		164,36	

Como se puede ver en la Tabla 42, los valores medios de las taras proporcionados por la campaña de pesaje del CEDEX entre 2000 y 2003 han sido más bajos para casi todos los tipos de vehículos que los proporcionados por la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013 y por el Registro General de Vehículos de 2017. Estos valores de las taras medias para cada tipo de vehículo son los que han sido introducidos en los cálculos de estimación de las cargas transportadas, según el método propuesto en esta Tesis, que se acaba de describir.

Para la comprobación del procedimiento de estimación de las cargas transportadas se utilizó también la toma de datos de campo realizada en la autovía A-2, p.k. 82 en Trijueque, donde se instaló el equipo de pesaje dinámico en el carril derecho en sentido Madrid, de manera que los camiones que circulaban sobre este equipo luego podían ser pesados de forma estática en una báscula fija del Ministerio de Fomento situada unos 500 m más abajo.

Para la comprobación del procedimiento de estimación de la carga transportada se tomaron datos de dos muestras distintas de camiones:

1. Una muestra reducida de 30 camiones que, tras pasar sobre el equipo de pesaje en movimiento a su velocidad normal de recorrido, luego fueron desviados por la Guardia Civil para ser pesados estáticamente. Además, se les pidió su ficha técnica para conocer su tara y otros datos del vehículo.
2. Una muestra amplia de más de 600 camiones de diverso tipo que fueron fotografiados al pasar sobre el equipo de pesaje, con objeto de registrar sus matrículas, al mismo tiempo que se anotaba su hora de paso sobre el equipo, para su identificación posterior en los listados. Los datos de matrícula fueron enviados a la Dirección General de Tráfico para obtener las taras de cada vehículo.

Los resultados de comprobación de la exactitud y precisión del método de estimación de la **carga transportada por cada vehículo individual** de la muestra reducida de 30 vehículos de peso estático conocido muestran que, aunque aproximadamente en un 60% de ellos el peso fue estimado con una precisión aceptable dentro de un intervalo del $\pm 20\%$, **difícilmente podría ser utilizado este procedimiento para estimar la carga de los vehículos individuales**, pues se dan casos en los que el error que se puede cometer es muy grande (incluso mayor del 100%) y difícil de evitar, especialmente para los camiones rígidos de 2 ejes o cuando los vehículos circulan descargados.

La razón de estos altos errores en la determinación de la carga transportada por los vehículos individuales hay que buscarla en los efectos de propagación de errores al realizar la operación aritmética de estimación de la carga, en la que se restan dos cantidades que conllevan una cierta incertidumbre (el peso del vehículo suministrado por el sistema de pesaje dinámico y la tara media del tipo de vehículo en que es clasificado automáticamente el camión). En estos casos, es bien conocido que los errores de los factores que intervienen en la resta se suman, mientras que la cantidad sobre la que intervienen (el resultado de la resta) es menor que las originales, con lo cual el error relativo aumenta.

Sin embargo, la aplicación del método ha resultado satisfactoria para estimar el peso de la carga total transportada por un conjunto de vehículos (en este caso, el de la muestra de 30 camiones pesados estáticamente por la Guardia Civil), pues a pesar del alto sesgo de las medidas proporcionadas por el sistema WIM utilizado, que superaba el 6%, han resultado unos errores totales en la determinación de la carga total transportada del 12% al 15% (véase la Tabla 43), según la base de datos de taras utilizada, que se pueden desglosar en dos componentes:

- Una componente del error es debida a la imprecisión del sistema de pesaje dinámico, y para el ensayo realizado tiene una magnitud del 8% al 9%.
- La otra componente del error es debida a las simplificaciones del método de estimación y tiene una magnitud más pequeña, de entre el 4% y el 6%, según la base de datos de taras utilizada.

Tabla 43. Resumen de las estimaciones de las cargas transportadas por los vehículos de la muestra reducida en Trijueque, según las tres bases de datos de taras (CEDEX, EPTMC y RGV) y error cometido en cada una de ellas,

Veh nº	Tipo de vehículo	Carga real = Pest-Tara (kN)	Tara estimada campaña 2003 (kN)	Carga estimada campaña 2003 (kN)	Tara estimada EPTMC (kN)	Carga estimada EPTMC (kN)	Tara estimada RGV-DGT (kN)	Carga estimada RGV-DGT (kN)
1	T2S3	222,39	143,90	219,07	142,48	220,49	146,03	216,94
2	T2S3	249,34	143,90	267,14	142,48	268,56	146,03	265,01
3	T2S3	159,90	143,90	157,26	142,48	158,69	146,03	155,14
4	T2S3	74,30	143,90	111,16	142,48	112,58	146,03	109,03
5	T2S3	173,78	143,90	193,56	142,48	194,98	146,03	191,43
6	T2S3	165,84	143,90	193,56	142,48	194,98	146,03	191,43
7	C2	16,87	62,51	72,87	77,55	57,83	62,94	72,44
8	C2	5,98	62,51	-10,52	77,55	-25,56	62,94	-10,95
9	T2S3	168,14	143,90	161,19	142,48	162,61	146,03	159,06
10	T2S3	49,40	143,90	100,37	142,48	101,79	146,03	98,24
11	C2	17,36	62,51	66,98	77,55	51,94	62,94	66,55
12	T2S3	38,50	143,90	86,63	142,48	88,05	146,03	84,51
13	T2S3	268,89	143,90	268,12	142,48	269,54	146,03	265,99
14	T2S3	252,85	143,90	232,80	142,48	234,22	146,03	230,67
15	C2R2	121,84	126,72	182,30	169,87	139,15	127,08	181,94
16	T2S3	231,52	143,90	239,67	142,48	241,09	146,03	237,54
17	T2S3	157,51	143,90	186,69	142,48	188,12	146,03	184,57
18	T2S3	272,19	143,90	249,48	142,48	250,90	146,03	247,35
19	T2S3	79,49	143,90	110,18	142,48	111,60	146,03	108,05
20	C2	12,56	62,51	79,74	77,55	64,69	62,94	79,31
21	C3	151,71	111,70	155,14	120,17	146,66	126,67	140,16
22	T2S3	176,92	143,90	174,92	142,48	176,34	146,03	172,80
23	T2S3	147,69	143,90	173,94	142,48	175,36	146,03	171,81
24	C2	60,92	62,51	102,30	77,55	87,26	62,94	101,87
25	T2S3	251,87	143,90	268,12	142,48	269,54	146,03	265,99
26	T2S3	281,84	143,90	267,14	142,48	268,56	146,03	265,01
27	T2S3	242,86	143,90	282,83	142,48	284,25	146,03	280,71
28	T2S3	109,23	143,90	169,04	142,48	170,46	146,03	166,91
29	T2S3	269,43	143,90	320,11	142,48	321,53	146,03	317,98
30	T2S3	94,81	143,90	110,18	142,48	111,60	146,03	108,05
		Carga real total		Carga estim. tot..		Carga estim. tot		Carga estim tot
		4525,97		5191,94		5097,83		5125,53
		Error total (%)		14,70	Error total (%)	12,64	Error total (%)	13,25
		Error método (%)		5,89	Error método (%)	3,97	Error método (%)	4,53

Como se puede deducir de los resultados expuestos en la Tabla 43, las estimaciones de la carga transportada calculados con las taras de la Campaña de pesaje del CEDEX 2000-2003 han sido algo peores que las obtenidas con las taras medias de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013 y del Registro General de Vehículos de 2017, y ello a pesar de que la campaña del CEDEX se realizó en las carreteras de la Red del Estado, es decir, en vías en muchos casos similares a la A-2 en donde se realizó el ensayo, por lo que cabe deducir que quizás ha influido el hecho de que esta base de datos sea algo antigua, y puede que en estos 15 años hayan podido variar ligeramente algunas características de los vehículos, como es la tara.

Al evaluar los resultados de la muestra amplia, de más 600 vehículos fotografiados en el momento de pasar sobre el sistema de pesaje, sólo se puede obtener la componente del error debida al método de estimación, pues en esta muestra no se conocen los pesos estáticos (reales) de los vehículos que la integran. De acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar el método de estimación de las cargas transportadas sobre esta muestra mucho más amplia de vehículos, **queda confirmada la pequeña magnitud del error debido a las simplificaciones del procedimiento desarrollado** (es decir, excluyendo el error del sistema de pesaje en movimiento), pues se obtiene un error en la estimación de la carga total transportada debido al procedimiento del 3,9%, tal como se puede ver en la Tabla 37.

La razón de los reducidos errores del método propuesto al estimar la carga total transportada por un conjunto de vehículos frente a los errores de gran magnitud que tienen lugar al determinar la carga transportada por cada vehículo individual está en la compensación de los errores accidentales (los de los errores por defecto con los errores por exceso) incurridos en los distintos vehículos individuales, quedando sólo las componentes sistemáticas del error (sesgo medio de los pesajes y de la base de datos de taras utilizada), **lo que permite la aplicación de este método para obtener datos estadísticos de las cargas totales transportadas** en una carretera por todos los vehículos que circulan por ella.

El único reparo que cabe poner al procedimiento desarrollado es que la exactitud en la determinación de la carga transportada depende del tipo de vehículos pesados para el que se calcule el peso de esta carga. Así, en los resultados de la muestra amplia de más de 600 vehículos, se ha podido comprobar que, para los tipos de vehículos de los cuales existe un número mínimo en la muestra que haga posible realizar esta evaluación con cierta fiabilidad, se ha comprobado que el error debido a las simplificaciones del método en la determinación de la carga transportada por los vehículos articulados de 5 ejes, que es el camión más común en el tráfico pesado en España, fue de sólo un 1,65 %, pero en los vehículos rígidos de 2 ejes, que es el segundo vehículo más común, ascendió a un 46,3%.

Este alto error al estimar la carga transportada por los camiones rígidos de 2 ejes se debe a que dentro de este tipo de camiones existe una gran variedad de tamaños y, por tanto, de taras (la dispersión de los valores de sus taras supera el 30% en cualquiera de las 3 bases de datos de taras estudiadas), con lo cual al sustituir la tara

real por la tara media se comete para este tipo de vehículo una imprecisión importante. Así, en esta autovía, al tratarse de una vía de largo recorrido, es probable que la mayor parte de los camiones fueran del segmento superior del tipo, es decir, que tuvieran un tamaño grande, por lo cual, su tara real sería bastante superior a la tara media nacional del tipo, lo que se tradujo en una notable sobreestimación de la carga transportada por estos vehículos, al calcularse la carga transportada como la diferencia entre el peso dinámico registrado por el equipo y la tara media del tipo. En efecto, al realizar las comprobaciones pertinentes, se ha verificado que la tara real media de los vehículos rígidos de 2 ejes en la muestra amplia del ensayo de Trijueque fue de 8.148 kg (79,93 kN) mucho más alta que la tara media asignada en esta comprobación (la de la campaña del CEDEX para ese tipo, 62,51 kN). Esta tara media registrada es muy próxima a la tara media del tipo según la EPTMC (77,55 kN), pues en ella solo se incluyen los vehículos de MMA > 6 t. De hecho, si se hubiera asignado esta última tara media para determinar la carga transportada por los camiones rígidos de 2 ejes, se habría obtenido solamente un error aproximado del 10% en la carga total transportada por este tipo de vehículos.

Con objeto de determinar la influencia en la exactitud de la estimación de ciertos parámetros cuyo valor puede variar, por ser muy difícil su determinación exacta o su ajuste, se ha realizado un análisis de sensibilidad del método respecto de algunos de ellos, como son algunas componentes de los errores de medición del equipo, entre las que se encuentran la incorrecta calibración de éste y la propia incertidumbre del sistema de medición, así como otras posibles imprecisiones del método, entre las que se encuentran una mala estimación de las taras de los diferentes tipos de vehículos o los errores del método automático de clasificación desarrollado.

Las conclusiones de este análisis de sensibilidad muestran que el factor más importante para que los resultados del método de estimación de la carga total transportada por un conjunto de vehículos pesados sean suficientemente exactos es que el equipo de pesaje dinámico esté correctamente calibrado, pues si la calibración del equipo de pesaje fuera correcta con un sesgo nulo, el error relativo que se hubiera obtenido en la estimación total de las cargas transportadas hubiera sido un 2,78 %, es decir, que reduciendo el sesgo del pesaje en un 6,35 %, el error total del procedimiento desarrollado para estimar las cargas transportadas disminuiría un 11 % (desde el 14 % al 2,76 %). El segundo factor en orden de importancia sería la representatividad de las taras de la base de datos elegida, pues de no serlo, puede empeorar en gran medida los resultados del peso total de la carga transportada; mientras que otros factores, como la mayor o menor dispersión de las medidas o la adecuación del método de clasificación automatizada de vehículos parecen tener menor influencia, que además en algunos casos puede compensar parcialmente los errores debidos al aparato de pesaje.

En la práctica, es muy difícil conseguir que el sesgo sea nulo, pero es factible dejarlo en el entorno del 2 % al 3 %, con lo cual se podría conseguir un error total en la determinación de la carga transportada del 7 % al 8%.

Por último, se ha tratado de comprobar si se podrían obtener las taras directamente de los pesos de los vehículos registrados por la báscula dinámica en la carretera, pues

ello permitiría reducir el error en la estimación de la carga cuando se trata de obtener este dato en vías en las que los vehículos pesados tienen unas características bastante diferentes de los más representativos del tráfico pesado medio nacional. Para ello, se ha comprobado un procedimiento descrito en un estudio francés [40], que propugna:

1. Considerar como vehículos vacíos a los que su peso registrado por el sistema de pesaje está por debajo del percentil 5 de la distribución de pesos de los vehículos de cada tipo,
2. Asignar como tara media de estos vehículos de cada tipo **el valor medio de los pesos registrados para cada tipo por debajo de ese percentil 5 de pesos.**

Esta comprobación se ha realizado sobre los pesos registrados en la muestra amplia de más de 600 vehículos, y se ha comparado con los valores de la tara real de esos mismos vehículos proporcionados por la Dirección General de Tráfico. En la Tabla 44 se muestran los valores de pesos determinados por ambos métodos para los tipos de vehículos más comunes y, además, con los valores medios de las taras proporcionados por el Registro General de Vehículos.

Tabla 44. Comparación de los valores de las taras estimados con el peso medio de los vehículos por debajo del percentil 5 de los pesos registrados para cada tipo de vehículos, con los valores reales y con los valores medios del Registro General de Vehículos

Tipo de vehículo	Peso medio de los vehículos dentro percentil 5 del peso registrado (kg)	Tara real media (DGT) (kg)	Tara media Registro General de vehículos (kg)
Rígidos de 2 ejes	5.200	8.148	6.416
Rígidos de 3 ejes	11.500	12.418	12.913
Articulados de 5 ejes	18.037	15.067	14.886
Tren de 4 ejes	18.000	16.747	12.954

Como se puede ver en la Tabla 44, en los camiones rígidos el peso medio de los vehículos dentro del percentil 5 de pesos registrados para cada tipo es menor que las taras reales de esos mismos vehículos proporcionadas por la DGT así como por las taras medias del conjunto de vehículos del tipo en el parque español, extraídas del Registro General de Vehículos, mientras que para los vehículos articulados el peso medio de los vehículos dentro del percentil 5 es mucho mayor que las taras reales o las taras medias del parque, lo que indica que deben de circular casi todos con algo de carga. Por tanto, cabe concluir que, al menos en primera instancia, no es posible estimar las taras de los vehículos pesados siguiendo las indicaciones del método francés y, peor aún, parece que el percentil de pesos que se corresponde para cada tipo de vehículo con las taras medias, varía según el tipo de que se trate.

Aparte de todo lo anterior, dado que una de las principales aplicaciones del pesaje de vehículos en movimiento es el dimensionamiento de firmes viarios, se ha tratado de evaluar el efecto que puede tener el error con el que son obtenidos los pesos de ejes y vehículos mediante esta técnica en la predicción de la vida de servicio de los firmes.

Para ello, se ha aplicado el procedimiento de cálculo del número de ejes equivalentes, utilizando la ley de potencias del ensayo AASHO, a los resultados de pesos obtenidos tanto con pesaje dinámico como con pesaje estático, en la muestra reducida de 30 camiones del ensayo de Trijueque. Es decir, se ha calculado el factor de equivalencia de todos los vehículos de la muestra mediante ambos procedimientos de pesaje a efectos de comparación, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45 Comparación de los factores de equivalencia obtenidos con pesajes dinámicos y estáticos

	Pesos obtenidos con pesaje dinámico	Pesos obtenidos con pesaje estático
Factor de equivalencia para $\alpha = 4$ y eje tipo de 128 kN	0,66	0,56
Factor de equivalencia para $\alpha = 8$ y eje tipo de 128 kN	0,39	0,33
Factor de equivalencia para $\alpha = 4$ y eje tipo de 113 kN	1,07	0,92
Factor de equivalencia para $\alpha = 8$ y eje tipo de 113 kN	1,05	0,88

Como se puede ver en la tabla, los factores de equivalencia medios calculados con los pesos obtenidos dinámicamente son aproximadamente un 18% superiores a los mismos factores de equivalencia medios obtenidos con los pesos de los vehículos parados, tanto para un exponente $\alpha = 4$ como para un exponente $\alpha = 8$. Es decir, que las inexactitudes del equipo de pesaje dinámico ($E_r = 6,35\%$; $CoV = 8,4\%$) incrementan su efecto sobre la exactitud en la estimación de la vida de servicio de los firmes, aproximadamente en un 18 %, debido a la aplicación de la ley de potencias del ensayo AASHO.

No obstante, este error obtenido en el ensayo al determinar el coeficiente de equivalencia mediante pesajes dinámicos es apreciablemente menor que el que resulta de la aplicación de una ley estadística (relativa al sesgo adicional introducido por el error relativo medio y la dispersión de las medidas), lo que parece deberse a que el error relativo cometido al pesar los vehículos más cargados, que son los que tienen una mayor influencia en el factor de equivalencia obtenido, es más pequeño que el error relativo medio en toda la muestra de vehículos.

7 Conclusiones

7.1 Introducción y sentido de la investigación

En esta Tesis se ha tratado de demostrar la viabilidad de un procedimiento totalmente automático para determinar el peso de las cargas transportadas por los vehículos pesados, sin necesidad de detenerlos para realizar su pesaje estático, con objeto de poder conocer este dato fundamental en el transporte por carretera sobre grandes muestras de vehículos o incluso sobre el tráfico pesado completo que circula por una carretera.

Los métodos utilizados hasta el presente para obtener datos de las cargas transportadas por los vehículos se basan en encuestas realizadas a los transportistas (en España, la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC)), que tienen diversas limitaciones (posibles problemas derivados de la falta de representatividad) y además, al basarse en las respuestas de los mismos transportistas, pueden proporcionar datos sesgados al respecto.

Para dar respuesta a la necesidad de conocer de forma fiable las cargas transportadas por los camiones, se ha desarrollado en esta Tesis un procedimiento de determinación automática del peso de la carga transportada mediante pesaje dinámico. Este método sirve para obtener, de forma continua y sin necesidad de encuestas o tomas de datos que requieren la utilización de operarios, la carga total transportada por el conjunto de vehículos que constituyen el tráfico de una carretera.

Las aplicaciones principales de conocer la carga total transportada por el conjunto de vehículos que constituyen el tráfico pesado de una carretera son, primeramente, cuantificar el flujo de mercancías entre distintos centros de carga y poblaciones, así como poder determinar, a escala regional o nacional, de forma fiable, representativa y no sesgada, el indicador más importante de la actividad del transporte, que son las toneladas-km transportadas por carretera. Además, dada la fuerte correlación de este indicador con otras magnitudes económicas, se puede utilizar para monitorizar el nivel de actividad económica general de un país.

7.2 Principales resultados

7.2.1 Tecnología de toma de datos del tráfico que se debe utilizar

Tras exponer las limitaciones legales en cuanto a pesos, totales y por eje, y a las dimensiones de los vehículos pesados, se ha explicado la situación de la técnica en el campo de toma de datos del tráfico (Apartado 4.1), con objeto de determinar cuál es la tecnología más adecuada para llevar a cabo los objetivos de esta Tesis, es decir, para determinar de forma automatizada el peso de la carga transportada por los vehículos pesados.

Las diferentes tecnologías existentes para la toma de datos del tráfico se pueden clasificar en dos grandes grupos: las técnicas invasivas del pavimento (en las que los sensores quedan fijados al firme o se introducen en él) y las no invasivas (en las que los sensores se instalan a una cierta distancia por encima del pavimento, con la ventaja de que su instalación no requiere cortar el tráfico, aunque su funcionamiento se puede ver alterado por las condiciones de luminosidad y atmosféricas). Entre las primeras cabe citar los lazos de inducción, los magnetómetros, los sensores piezoeléctricos, los de fibra óptica y otros sensores de presión, así como los sistemas de pesaje dinámico. Entre las técnicas no invasivas se encuentran los sistemas de procesamiento de imágenes de vídeo, el radar de microondas, los detectores por infrarrojos, los detectores ultrasónicos y los sensores acústicos pasivos.

Tras realizar un examen detallado de las ventajas e inconvenientes de cada tecnología se ha llegado a la conclusión de que la única que es capaz de suministrar datos del peso de los vehículos al mismo tiempo que realiza una clasificación fiable y detallada de estos, operaciones necesarias para alcanzar los objetivos de esta Tesis, es el pesaje dinámico o pesaje de vehículos en movimiento, técnica conocida frecuentemente por sus siglas en inglés WIM (Weigh-in-Motion).

7.2.2 Procedimiento de clasificación de los vehículos pesados

Una vez escogida la tecnología que se iba a utilizar para realizar la toma de datos de esta Tesis, se ha establecido que como medio auxiliar para determinar de forma automatizada la carga transportada por los vehículos, se debía desarrollar primeramente un procedimiento de clasificación detallada de estos, con objeto de poder estimar de una manera suficientemente precisa sus pesos en vacío o taras.

Existen diversos esquemas de clasificación detallada de los vehículos utilizados en los diferentes países y regiones geográficas del mundo (Estados Unidos, Europa, etc), pero para los propósitos de esta Tesis, es indispensable que el esquema de clasificación propuesto esté adaptado a las condiciones y tipos de vehículos que constituyen el tráfico pesado en España.

Por otro lado, cualquier esquema de clasificación de vehículos está completamente relacionado con las capacidades de la tecnología de toma de datos del tráfico utilizada para proporcionar esa clasificación. Por tanto, dado que, como se ha establecido, la clasificación va a ser realizada por un equipo de pesaje dinámico, que suministra datos del peso total del vehículo, los pesos de cada uno de sus ejes, la separación entre cada dos ejes y la longitud total del vehículo, este procedimiento de clasificación se basa en un conjunto de reglas de decisión en relación con los mencionados parámetros.

Mediante el procedimiento de clasificación desarrollado en este documento, se ha podido clasificar a los vehículos, principalmente a los pesados, en una silueta del tráfico muy detallada, con más de 20 tipos diferentes (aunque, como sólo se han considerado entre los trenes de carretera los tipos más frecuentes, se ha limitado la clasificación a 18 tipos).

En cuanto a la definición de las **condiciones de clasificación de los diferentes tipos de vehículos**, se ha podido extraer las siguientes conclusiones:

1. La primera distinción que cabe realizar en una sistema de clasificación es la separación entre los vehículos ligeros y los pesados. Aunque en el procedimiento de clasificación desarrollado podría haberse realizado esta distinción exclusivamente en función del peso (considerando como pesados a los vehículos cuyo peso registrado por el sistema de pesaje dinámico sea mayor de 3,5 toneladas), por ser más ajustada, también se ha realizado en función de la longitud del vehículo (de manera que se considera que un vehículo es pesado si su longitud es mayor de 6 m), para poder seguir y comparar los resultados con el procedimiento de diferenciación más simple (por estar basado únicamente en los datos proporcionados por lazos de inducción) utilizado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.
2. En un primer momento, dentro de los vehículos ligeros se abordó la clasificación de estos en varios tipos diferentes (turismos, derivados de turismo, coches con caravana, furgones ligeros). En la Tabla 12 se muestran las condiciones de diferenciación y clasificación de estos vehículos. No obstante, debido al solape casi total de características entre algunos de los tipos (entre turismos y derivados de turismo, así como entre los turismos grandes y los furgones ligeros), se ha considerado que no es posible realizar esta diferenciación de forma adecuada. Por otro lado, como el objetivo de todo el procedimiento es estimar la carga transportada, a este respecto son mucho más importantes los vehículos pesados, por lo que se decidió no profundizar en la diferenciación de los distintos tipos de vehículos ligeros.
3. Una vez clasificado un vehículo como pesado, la distinción entre las tres grandes clases de camiones (vehículos rígidos, vehículos articulados y trenes de carretera) se realiza primeramente en función de la longitud del vehículo, pues por cuestiones de normativa legal de pesos y dimensiones, los rígidos no pueden medir más de 12 m ni los articulados más de 16,5 m (aunque deben tenerse en cuenta ciertas tolerancias a los anteriores valores), ocurriendo que la mayor parte de los vehículos de cada una de estas clases (excepto los camiones rígidos de 2 ejes) tienden a tener una longitud próxima al límite superior, con objeto de poseer mayor capacidad de carga. Sin embargo, como dentro de cada una de estas tres clases existen algunos tipos particulares de vehículos que tienen longitudes menores que las típicas de su clase (como las *bañeras de obra* de tipo articulado, que suelen medir menos de 12 m), aparte de la longitud, se debe acudir a algún parámetro adicional para asignarlos a la clase correcta.
4. Dentro de cada clase de vehículo, la forma de distinguir unos tipos de vehículos de otros se apoya fundamentalmente en el número de ejes que poseen y en la configuración de estos (es decir, si se trata de ejes simples, tándem o trídem), imponiéndose unas condiciones de distancia máxima

para que dos o tres ejes consecutivos constituyan un eje múltiple (normalmente, separación menor de 1,8 m). También se suele incluir, como condición adicional, la separación entre algunos ejes individuales que no forman eje múltiple.

5. No obstante, para diferenciar entre tipos de vehículos parecidos, en ocasiones, se debe acudir a otros parámetros o características de los vehículos, debido a que:

- Existe un **solape** en los valores que toman los parámetros de clasificación en varios tipos de vehículos, por lo que resulta bastante difícil diferenciarlos. En estos casos, para poder diferenciar adecuadamente estos “casos difíciles”, en el apartado 5.1.6 se ha realizado un estudio pormenorizado de las distribuciones de frecuencias (mediante histogramas) de algunos parámetros de clasificación en los tipos de vehículos susceptibles de ser confundidos entre sí.
- Un porcentaje apreciable de camiones circula con algún eje levantado sobre el pavimento (normalmente por circular en vacío). La principal novedad de este procedimiento de clasificación respecto de otros existentes es que, aunque los camiones circulen con algún eje elevado, se intenta clasificar a los vehículos dentro de su tipo correcto. Así, por ejemplo, a un camión de 3 ejes que lleve uno de ellos elevado sobre el firme, los procedimientos actuales de clasificación tienden a considerarlo como un camión de 2 ejes solamente, pues el sistema de pesaje dinámico sólo puede detectar los 2 ejes apoyados sobre el pavimento. Sin embargo, el procedimiento de clasificación desarrollado en esta Tesis trata de clasificar este tipo de vehículo como un camión de 3 ejes, su tipo verdadero, basándose en otras características adicionales de las que se tiene conocimiento.

6. Normalmente, uno de los casos más típicos de solape entre tipos de vehículos parecidos y que plantean más problemas para su clasificación son los autobuses de 2 y de 3 ejes, pues resulta muy difícil distinguirlos de los camiones rígidos del mismo número de ejes. Como el límite legal máximo de longitud de los autobuses es de 15 m (en comparación con los 12 m de longitud límite para los camiones rígidos), los autobuses suelen ser algo más largos que los camiones rígidos correspondientes, por lo que se impone la condición de que su longitud mínima sea de 11 m para los de 2 ejes y de 12,4 m para los de 3 ejes. No obstante, existe una cierta proporción de autobuses pequeños de 2 ejes, cuya identificación es muy difícil.

Otros casos típicos de solape de características se dan entre los vehículos articulados y los trenes de carretera del mismo número de ejes. Para realizar la diferenciación entre esos dos tipos de vehículos se acude a la

distancia entre el primer eje del vehículo tractor (eje direccional) y el segundo eje (eje motriz), que en las cabezas tractoras de los articulados está entre 2,5 m y 4,3 m, mientras que los camiones de 2 ejes que tiran de un remolque suelen ser algo más largos, imponiéndose una distancia entre ambos ejes mayor de los 4,3 m.

7. Como ya se ha comentado, el otro grupo de casos de difícil diferenciación es el de los vehículos de n ejes que llevan un eje levantado sobre el pavimento, pues suelen ser confundidos con el tipo de vehículo parecido de n-1 ejes. Los dos casos más típicos donde se produce esto son :

- El articulado de 5 ejes con eje trídem trasero, cuando lleva el tercer eje levantado, con el articulado de 4 ejes con eje tándem trasero. Se ha escogido como umbral de diferenciación entre ambos tipos el peso total del vehículo, de manera que si el peso es menor de 28 toneladas, se considera que se trata de un articulado de 5 ejes que circula con un eje levantado por circular casi descargado. Aunque esta condición pueda parecer un poco arbitraria, sus resultados son muy buenos, debido a que actualmente existen muy pocos articulados de 4 ejes en las carreteras españolas.
- Los camiones rígidos de 3 ejes que llevan un eje levantado con los camiones rígidos de 2 ejes y los autobuses de 2 ejes. En este caso existe una coincidencia muy grande entre muchas de las características de estos tipos, por lo que se ha establecido el cumplimiento simultáneo de las siguientes condiciones para que un camión con 2 ejes registrados por el sistema de pesaje dinámico sea considerado como un camión de 3 ejes con un eje levantado:
 - Que su longitud sea mayor de 9,5 m
 - Que su peso total esté entre 10 t y 14 t (es decir, que circula vacío)
 - Tener una distancia entre el 1º y 2º eje menor de 5,8 m.

Las condiciones completas de clasificación que se han impuesto para lograr la clasificación correcta de cada uno de los tipos de vehículos pesados existentes en las carreteras españolas aparecen expuestas de forma pormenorizada dentro del Apartado 5.1.5 del texto, en las Tablas 13 (I, II, III, IV, V y VI) y, de forma resumida y en formato lógico, en la Tabla 14.

Los resultados de la evaluación de la exactitud del procedimiento de clasificación desarrollado, obtenidos en el ensayo de comprobación llevado a cabo en la A-2, pk 81, en Trijueque, han arrojado solamente un 4% de vehículos clasificados erróneamente, que supone para el conjunto del tráfico pesado una **tasa de clasificación correcta** del 96%, lo que demuestra la exactitud y fiabilidad del procedimiento desarrollado.

7.2.3 Procedimiento de estimación de la carga transportada

Una vez clasificados los vehículos pesados en una silueta suficientemente detallada, se ha desarrollado el procedimiento para estimar la carga transportada por estos (obteniendo lo que se llama la “carga estimada”), que es el objetivo principal de esta Tesis. Este procedimiento se basa en restar del peso dinámico registrado para cada vehículo por el sistema de pesaje (“peso dinámico”), el peso en vacío del mismo vehículo, que como no se puede conocer su valor exacto, se sustituye por una “tara estimada”, que se corresponde con la tara media del tipo de vehículos en el que es clasificado automáticamente por el método descrito anteriormente.

$$\text{Carga estimada} = \text{Peso dinámico} - \text{Tara estimada}$$

Por otro lado, si se suman las “cargas estimadas” de todos los vehículos de una muestra, se obtiene la “carga estimada total”.

Fuentes de datos sobre taras medias de los diferentes tipos de vehículo

Para determinar los valores promedio de las taras de los distintos tipos de vehículo existentes se ha acudido a las siguientes bases o fuentes de datos de taras de los vehículos:

1. El Registro General de Vehículos (datos de 2017) de la Dirección General de Tráfico.
2. La Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) del año 2013.
3. Las taras recogidas en el muestreo visual llevado a cabo simultáneamente a los pesajes dinámicos de la campaña 2000-2003, realizada por el CEDEX en la Red de Carreteras del Estado.

Las primera fuente de datos (Registro General de Vehículos) se refiere al parque de vehículos existente en España, mientras que las otras dos fuentes (Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías y la Campaña de pesaje dinámico realizada por el CEDEX) se refieren al tráfico real de vehículos pesados por la carretera.

También se han estudiado los datos de los catálogos de fabricantes de camiones y de remolques y semirremolques (véase el Apartado 5.2.3.4), que constituyen una valiosa fuente de información sobre las características de los vehículos nuevos, aunque no se pueden aplicar directamente para determinar las taras del conjunto del parque ya existente. No obstante, su estudio sirve para conocer las tendencias, entre las cuales parece existir una cierta disminución de la tara de los vehículos.

Entre las tres bases de datos estudiadas se pueden observar las principales diferencias y similitudes que se apuntan a continuación:

1. Afortunadamente, las tres bases de datos dan un valor muy similar para la tara media del vehículo articulado de 5 ejes (entre 14.475 kg y 14.882 kg), que es con mucho el más común en el transporte interurbano, lo que

asegura unos resultados parecidos en la estimación de las cargas totales transportadas utilizando cualquiera de las tres bases de datos.

2. El tipo de camión en el que se observan las diferencias más altas entre las tres bases de datos es en el rígido de 2 ejes, pues en la EPTMC la tara media de este tipo es claramente mayor (7.905 kg) que en las otras dos fuentes de datos: 6.372 kg en la base de la campaña del CEDEX y 6.412 kg en el Registro General de Vehículos. La razón de esta diferencia hay que buscarla en el hecho de que estas dos últimas bases de datos se refieren a todos los vehículos pesados, es decir, a los de $MMA \geq 3.500$ kg, mientras que la EPTMC se refiere solamente a los vehículos de transporte interurbano con más de 6 t de peso y 3,5 t de capacidad de carga. Como prácticamente todos los vehículos de los estratos inferiores de peso son camiones rígidos de 2 ejes, la diferencia en las taras medias afecta fundamentalmente a este tipo de vehículo y no a los demás.

Por otro lado, como en zonas de transporte predominantemente interurbano casi todos los camiones rígidos de 2 ejes pertenecen a los de los estratos superiores del tipo (es decir, los que tienen una MMA cercana a 18 t o 20 t), cabe concluir que **en carreteras de tráfico interurbano convendría utilizar el valor de la tara media dado por la EPTMC para este tipo de camiones**. Precisamente, esto es lo que ha ocurrido en el ensayo de comprobación llevado a cabo en la A-2, pk 81 en Trijueque, en que la tara media ha sido 8.148 kg, bastante similar al valor dado por la EPTMC. Al contrario, cuando se utilice el método desarrollado para estimar las cargas de los vehículos **en vías periurbanas o con tráfico de corto recorrido**, en el que predominen los camiones de reparto, **conviene utilizar como tara media de este tipo** la dada por la campaña de pesaje dinámico del CEDEX o por el Registro General de Vehículos, **unos 6.400 kg**.

7.2.4 Comprobación de la exactitud del método

Para comprobar la exactitud del método, se han comparado las cargas estimadas mediante el procedimiento desarrollado con unas cargas reales que sirven de referencia. Con objeto de obtener en un mismo emplazamiento ambos tipos de datos, se ha realizado un ensayo en la A-2, pk 81, en Trijueque (Guadalajara), en el que se han tomado una serie de datos del tráfico real en la carretera sobre dos muestras de vehículos:

1. Una muestra reducida de 30 camiones que, después de pasar sobre el sistema de pesaje dinámico, han sido pesados en una báscula estática y, además, se conoce su tara real por medio de la ficha técnica del vehículo.
2. Una muestra amplia de más de 600 vehículos fotografiados al pasar sobre el sistema de pesaje dinámico, de los cuales, por medio de su matrícula, se ha recabado de la Dirección General de Tráfico su tara real.

De la muestra reducida de vehículos se ha podido determinar el error total del procedimiento desarrollado, pues se conocen tanto las **cargas (estáticas) reales** (ya que se tiene el dato del peso estático del vehículo) como las dinámicas. Este error total del procedimiento de cálculo incluye una componente debida al error del equipo de pesaje dinámico y otra componente debida a las simplificaciones del método. De la muestra amplia de vehículos sólo puede calcularse la componente del error debida a las simplificaciones del procedimiento desarrollado, pues sólo se conocen las cargas dinámicas. En este caso se han comparado las **cargas dinámicas reales**, obtenidas restando la tara real de cada vehículo a su peso dinámico proporcionado por el sistema de pesaje, con las **cargas dinámicas estimadas**, obtenidas restando la tara estimada según el tipo de vehículo al peso dinámico.

De la comparación de las cargas reales con las cargas estimadas de los vehículos de ambas muestras, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. En cuanto a la la carga transportada por cada vehículo individual, para un 60 % de los vehículos el error relativo de la estimación está dentro de un ± 20 % de la carga real del vehículo, lo que entra dentro límites tolerables, pero existe un número apreciable de casos en que este error es muy grande, superando incluso el 100 % del valor de la carga real. Esto último suele ocurrir cuando el valor de la carga real es muy pequeño, es decir, cuando el vehículo circula descargado, y también frecuentemente para vehículos rígidos de 2 ejes incluso cuando van cargados, lo que se debe a que en este tipo de vehículos la variabilidad de las taras es muy grande (con cualquier base de datos su desviación típica supera el 30%), debido a que existen camiones de 2 ejes de tamaños muy diferentes.

Además, al realizar el análisis de sensibilidad del método, se ha comprobado que este error es muy difícil de evitar, pues no decrece apreciablemente ni mejorando la calibración del equipo de pesaje ni su calidad, que viene determinada por la dispersión de sus mediciones. Por tanto, **esto invalidaría la aplicación del método para obtener la carga de cada vehículo individual**.

2. Por otro lado, al estimar la carga total transportada por un cierto número de vehículos, que pueden llegar a ser todos los que constituyen el tráfico de una carretera durante un cierto periodo de tiempo (1 día, 1 semana, 1 mes, etc.), se ha cometido un error total que ha variado, según la base de datos de taras elegida, entre un 12 % y un 15 % en relación al valor de la carga real total transportada, lo que significa que **este valor es bastante aceptable y permite su aplicación en la práctica**. Esto queda confirmado si se tiene en cuenta que, eliminando la componente del error debida al equipo de pesaje dinámico (que, a pesar de su alto sesgo en el ensayo realizado en Trijueque, se puede cifrar en un 8%), quedaría una componente del error debida a las simplificaciones o aproximaciones del

método desarrollado, que podría cifrarse entre el 3 % y el 6 % del peso de la carga real total transportada.

Este resultado, unido a un análisis de sensibilidad realizado variando el valor de algunos parámetros que son muy difíciles de conocer con exactitud, permite asegurar que la estimación proporcionada por el método desarrollado mejoraría apreciablemente, acercándose el error total a estas cifras, si mejorara la calibración del sistema de pesaje.

Esta precisión del método podrá mantenerse siempre que el tráfico de vehículos pesados de la carretera tenga una composición mixta, típica de cualquier vía interurbana española. No obstante, si la carretera en cuestión está situada en una vía urbana o periurbana, este error podrá aumentar en cierta medida, al existir una mayor proporción de camiones de 2 ejes en el tráfico, pues en estos vehículos la precisión del método es menor. Este problema podría presentarse también en carreteras con un tráfico pesado muy diferente del tráfico promedio, como pueden ser las carreteras que son el origen o destino de canteras, obras o actividades mineras, y su resolución requeriría un estudio más pormenorizado de las taras de los vehículos presentes en la vía en cuestión.

Por eso, se ha estudiado la posibilidad de estimar las taras de los vehículos directamente de los resultados de los pesajes en la carretera, pues ello proporcionaría una estimación más exacta de la carga transportada total cuando los vehículos predominantes en una carretera tienen características diferentes de los de la media de la red. Para ello se ha seguido la metodología de un estudio al respecto realizado en Francia, que propone adoptar como valor medio de la tara de cada tipo de vehículos el peso medio de los vehículos cuyo peso registrado por el equipo de pesaje está por debajo del percentil 5 de la distribución de los pesos de todos los vehículos del tipo. Sin embargo, los resultados obtenidos en la comprobación con los datos de la muestra amplia tomada en Trijueque no han sido buenos, pues:

1. El percentil de pesos que habría que tomar para definir las taras de cada tipo de vehículo varía según el tipo particular de que se trate.
2. Para el tipo de vehículo más común, el articulado de 5 ejes, el peso medio de los vehículos por debajo del percentil 5 de los pesos registrados es muy superior a la tara media real del tipo, y lo que es peor, prácticamente ningún vehículo de ese tipo circulaba de vacío en ese punto de la A-2, lo que indicaría que no es posible estimar las taras de ese tipo de vehículo mediante los pesajes en la carretera.

Por último, en cuanto a la aplicación del pesaje dinámico a la determinación del efecto de las cargas sobre los firmes viarios, se ha realizado el cálculo del factor de equivalencia medio de los 30 vehículos de la muestra reducida del ensayo de Trijueque, utilizando, por un lado, los datos de los pesajes dinámicos y, por otro, los pesos obtenidos en los pesajes estáticos (es decir, los pesos reales), habiéndose obtenido con los pesajes dinámicos **una sobreestimación del factor de equivalencia**

medio de un 18%, tanto para un exponente $\alpha = 4$ como para $\alpha = 8$. Sin embargo, esta sobreestimación ha sido apreciablemente menor que la que predecía una fórmula teórica basada en los valores del sesgo y la dispersión de las medidas, lo que se ha debido a que la precisión conseguida en los pesajes de los vehículos más cargados, que son los que influyen en mayor medida en el valor concreto del coeficiente de equivalencia, ha sido mayor que en los vehículos descargados, aspecto que se suele cumplir siempre en los pesajes dinámicos.

7.3 Principales aportaciones del estudio

Las principales aportaciones de esta investigación para obtener un procedimiento enteramente automático para determinar la carga transportada por los vehículos pesados son las que se describen a continuación:

1. En cuanto al procedimiento de clasificación automatizada de los vehículos pesados, se ha realizado un estudio para ir más allá de las típicas clasificaciones automáticas, que se basan solamente en el número de ejes de cada vehículo y las distancias de separación entre cada dos ejes, con lo cual dan resultados erróneos cuando tratan de clasificar camiones que circulan con algún eje levantado del suelo. Para tratar de superar este obstáculo se ha introducido como parámetro adicional de clasificación el peso total del vehículo, que junto con un estudio más detallado de las distribuciones de los parámetros usuales (longitud del vehículo, separación entre cada dos ejes) y un conocimiento actualizado de cómo suelen circular los vehículos de transporte tanto cuando van cargados como cuando lo hacen de vacío, permiten mejorar la tasa de acierto de la clasificación automática de los camiones que llevan un eje levantado, asignándoles el tipo correcto en vez del tipo que señala el número de ejes apoyados en el pavimento.
2. En lo relativo al procedimiento mismo de determinación de la carga transportada, esta investigación ha permitido disponer de un método para estimar un dato fundamental para conocer el grado de aprovechamiento de los vehículos comerciales, que además sirve de indicativo de la actividad del transporte, cuya determinación automatizada sólo se había empezado a acometer en un par de estudios muy recientes (que datan de hace uno o dos años todo lo más), tal como se ha demostrado en la revisión bibliográfica.

Pero además, ha sido interesante la comparación de las fuentes o bases de datos de las taras de los vehículos, pues en ella se ha puesto de manifiesto las diferencias y peculiaridades cada una, que dependen a su vez de la forma de recoger la información de los vehículos. Así, en el Registro General de Vehículos de la Dirección General de Tráfico, se incluyen las taras de

todos los vehículos del parque nacional, mientras que las taras proporcionadas por la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera se refieren a los vehículos que realizan transporte interurbano y con una capacidad de carga a partir de 3.500 kg y con un peso bruto a partir de 6 toneladas, con lo cual se deja fuera los típicos vehículos de transporte urbano, como los utilizados en el reparto, para centrarse en los modelos de mayor tamaño presentes en el transporte interurbano.

3. En la aplicación del sistema de pesaje dinámico a la determinación de los efectos de las cargas sobre los firmes, se ha proporcionado un indicador del error que se comete al estimar el coeficiente de equivalencia de cada vehículo pesado en ejes tipo. Así, el error del sistema de pesaje en la determinación de los pesos por eje se magnifica al calcular los ejes equivalentes, debido a que estos dependen de una función exponencial de las cargas. Por otro lado, el error del sistema de pesaje en la determinación de las cargas se debe no sólo a una deficiente calibración de equipo de pesaje, que conlleva un sesgo en los datos proporcionados, sino también a la incertidumbre de las medidas, que tiene su causa en las cargas dinámicas provocadas por la excitación que ocasionan las irregularidades del pavimento en la suspensión del vehículo y que, por tanto, no se puede eliminar con una correcta calibración del equipo. Afortunadamente, según se ha obtenido en el ensayo de toma de datos en Trijueque, el error al determinar los ejes equivalentes parece ser algo menor que el que predicen las fórmulas teóricas, debido a que la precisión de los equipos de pesaje es mejor al medir el peso de los vehículos que circulan bastante cargados, que son los que influyen en mayor medida en los ejes equivalentes, debido a la ley exponencial de fatiga.

7.4 Aplicabilidad de los resultados

Las principales aplicaciones de los resultados de esta investigación tienen que ver con la ingeniería de tráfico, el transporte por carretera y el dimensionamiento de firmes viarios, y se explican de forma detallada a continuación:

1. Obtención de la clasificación automática de los vehículos que constituyen el tráfico pesado, que se puede utilizar no sólo para determinar la carga transportada, sino en otras muchas aplicaciones de todo el proceso de concepción (planificación y proyecto) y explotación de una carretera. Así, gracias a una determinación más exacta del número y tipos de los vehículos pesados que circulan por una carretera, se puede optimizar el número necesario de carriles en una vía, para que sea capaz de dar cabida al tráfico con el mejor nivel de servicio posible. Por otro lado, el conocimiento detallado de los tipos de vehículos más frecuentes sirve para un correcto dimensionamiento de algunos elementos viarios (incorporaciones, ramales de enlace, rotondas, giros, etc), mientras que la disposición en tiempo real de esta composición del tráfico posibilita una gestión optimizada de la

circulación, pues se pueden tener en cuenta las prestaciones de cada tipo de vehículo para determinar su efecto en el flujo del tráfico. Por otro lado, el estudio de la participación de cada tipo de vehículo de transporte en el tráfico es un dato de gran importancia en estudios de economía de transporte, pues sirve para estimar de una manera más exacta los valores medios nacionales del coste de operación del transporte por carretera y permite estimar las proporciones de las diferentes categorías de transporte

2. La determinación del peso de la carga transportada por todos los vehículos que circulan por una carretera o que salen o entran a un puerto, aeropuerto, centro logístico, mercado central, etc., lo que permite conocer algunos indicativos fundamentales de la actividad económica y del transporte. Así, cuando se trata de una instalación terminal de mercancías, uno de los indicativos más utilizados es el total de toneladas que entran o salen de ese terminal (por ejemplo, uno de los indicadores de la importancia de un puerto es el total de toneladas transportadas a las que sirve de origen o destino). Cuando se trata de una autopista o carretera, el indicador son las toneladas transportadas multiplicadas por la distancia, es decir, las toneladas-km, que son uno de los datos utilizados para medir la actividad del sector del transporte por carretera.
3. La determinación del coeficiente de equivalencia medio de cada vehículo pesado en ejes tipo (de 13 t o, de acuerdo con el límite de peso actual, de 11,5 t) sobre todos los vehículos pesados que circulan por la carretera durante las 24 horas del día, evitando el sesgo en los resultados debido a la evasión de vehículos sobrecargados por otras rutas cuando se realizan pesajes estáticos. Esto permite un dimensionamiento más ajustado de los firmes viarios que con los valores que resultarían de utilizar unos factores de equivalencia medios nacionales.

7.5 Futuros desarrollos y líneas de investigación

Una vez demostrada la aplicabilidad de este método para estimar las cargas transportadas por el conjunto de vehículos que circulan por una carretera, cabe exponer algunas sugerencias respecto a futuros trabajos que se podrían realizar con vistas a la confirmación y generalización de los resultados de esta Tesis:

1. Tal como se ha comentado, los datos obtenidos en la carretera con el sistema de pesaje dinámico utilizado han mostrado un sesgo muy alto (superior al 6%), lo que unido a la poca precisión intrínseca del sistema de pesaje dinámico portátil, han empeorado los resultados obtenidos en la aplicación del procedimiento de estimación de las cargas transportadas. Es por ello por lo que convendría profundizar en esta investigación utilizando uno o varios sistemas de pesaje dinámico de instalación fija, que tienen una mayor precisión, en primer lugar porque el sensor no supone un resalto en

el pavimento sino que está empotrado en él, y que, sobre todo, bien emplean sensores de tecnologías muy estables ante los cambios de temperatura, como los sensores de cuarzo, bien disponen de algoritmos de autocalibración (en función de ciertas características del tráfico pesado que permanecen estables), que permiten eliminar en gran medida el sesgo de los resultados de los pesajes. Todo ello, conduciría a un mejor ajuste del procedimiento.

2. Por otro lado, se están desarrollando nuevas técnicas de toma de datos que, funcionando conjuntamente con los sistemas de pesaje dinámico, no sólo permiten mejorar la clasificación de los vehículos, sino también identificar el tipo de chasis y de caja de los camiones, como podrían ser los sensores basados en lazos de inducción con una más alta frecuencia de registro, que permiten hallar la “huella inductiva” del vehículo, o ciertos sistemas de procesamiento de imágenes o de sensores por infrarrojos, que permiten captar los volúmenes y formas concretas de los vehículos. Esto posibilitaría utilizar el procedimiento para determinar no sólo el peso, sino para inferir el tipo de mercancía transportada (líquidos, graneles, troncos, vehículos, etc), lo que aumentaría el campo de aplicaciones del método.
3. Una mejora del propio método de estimación consistiría en incorporar la capacidad de obtener las taras medias de los vehículos directamente de los datos de los pesos suministrados por el equipo de pesaje dinámico en la carretera, pues esto permitiría obtener una estimación más exacta de las cargas transportadas en los casos en que el tipo de tráfico pesado de una carretera determinada se desviara apreciablemente de las características medias del tráfico en el conjunto de la red de carreteras de todo el país, como ocurre por ejemplo en las carreteras que son el origen o destino de ciertas actividades mineras. Como se ha comentado anteriormente, se han acometido algunos estudios para tratar de resolver esta cuestión (ambos descritos en el Apartado 4.4), pero los resultados de la comprobación que se ha realizado siguiendo el método propuesto en uno de ellos utilizando los datos obtenidos en el ensayo de Trijueque, han sido bastante malos. Por ello, se requeriría profundizar en estos estudios, de forma que pudieran adaptarse a los diversos tipos de pesado que circula por las carreteras españolas, pues ello permitiría una aplicación generalizada del procedimiento de estimación de las cargas transportadas desarrollado en esta Tesis a todo tipo de carreteras.
4. En especial, sería interesante profundizar en el conocimiento de las diversas categorías del tráfico de vehículos rígidos de 2 ejes, y en la forma de obtener una posible diferenciación entre los vehículos de los diferentes estratos que lo componen, es decir, de poder distinguir automáticamente entre los camiones y furgones pequeños de 2 ejes, dedicados al reparto, de los furgones pesados y otros camiones de 2 ejes que se sitúan en la banda superior del tipo, cuya MMA está cerca del límite superior de 18 t. En este sentido, en los últimos años han surgido sistemas de pesaje dinámico que

disponen de sensores de peso situados en posición diagonal al sentido de marcha, lo que les hace capaces de distinguir entre los ejes de rueda gemela y los de rueda sencilla, que servirían para diferenciar los furgones y camiones ligeros de los pesados. Todo ello permitiría una mejora de la clasificación automatizada de los vehículos y una generalización del método de estimación de las cargas transportadas a entornos urbanos y periurbanos manteniendo el nivel de exactitud de las estimaciones de carga transportada.

Referencias

1. Dirección General de Tráfico (2002). *Tráfico, Circulación y Seguridad Vial*, Vigésima primera edición. Madrid. Boletín Oficial del Estado, Textos Legales, 14, 2002. ISBN: 84-340-1343-6.
2. Dirección General de Tráfico (1986). *Código de la Circulación*, Decimoquinta edición. Madrid. Boletín Oficial del Estado, Colección Textos Legales, 14, 1986. ISBN: 84-340-0277-9.
3. Directiva 96/53/CE del Consejo, de 25 de julio de 1996, sobre las dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional. Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 235/59, del 17 de septiembre de 1996.
4. Dirección General de Carreteras (2003). *Norma 6.1-IC Secciones de firme*. (Orden FOM 3460/2003). Ministerio de Fomento.
5. Crespo, R. (1986). *Caracterización del tráfico pesado en el dimensionamiento de firmes. El espectro de vehículos pesados en España*, Cuadernos de Investigación, C15, CEDEX.
6. Hallenbeck, M. y Weinblatt, H. (2004). *Equipment for collecting Traffic Load Data*, NCHRP Report 509, Transportation Research Board, Washington D.C.
7. Huppert, W. (1965, agosto). Aplicación e instalación de los detectores de lazo. En: *Traffic Engineering & Control*, Agosto de 1965 (traducción aparecida en el Boletín de Información del Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo, nº 40, Dic, 1965).
8. "Detector Technology". Chapter 2. "Emerging technology", Chapter 7. En *Traffic Detector Handbook*. 2nd Edition. Washington. Institute of Transportation Engineers (ITE), 1994, pp. 7-44 y 159-170.
9. Mimbela, L.E. y Klein, L.A. *Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems*, The Vehicle Detector Clearinghouse, Sponsored in cooperation with the U.S. Department of Transportation, FHWA, 2000. (obtenido de <http://www.nmsu.edu/~traffic/>)
10. Management Committee of the COST 323 Action. *COST 323 Weigh-in-Motion of Road Vehicles, Final report (1993-1998)*. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, April, 2002. ISBN 2-7208-1598-5
11. ASTM (2002). *ASTM E1318-02 Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Method*. American Society of Testing of Materials (ASTM).
12. COST 323 Weigh-in-motion of Road vehicles (1999). *European Specification on Weigh-in-Motion of Road Vehicles*, EUCO-COST/323/8/99, LCPC, Paris.
13. OIML (2006). *OIML R 134-1 Automatic instruments for weighing road vehicles in-motion and axle-load measuring. Part 1: Metrological and technical requirements – Tests*. Edition 2006 (E). OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale).

14. Stanczyk, D. et Jacob, B. (1998, 14/16 Septiembre). Essai Européen de systèmes de pesage en marche. Essai sur autoroute continentale (CMT), sur l'A-31. En *Actes finaux de la 2ème Conference Européenne sur le pesage en marche des véhicules routiers* (pp 411-420), Lisboa, ECSC-EEC-EAEC, EUR 18488. ISBN 92-828-3678-9.
15. Leal, J. (2012, 4-7 de junio). Evaluation of several piezoelectric WIM Systems, En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion ICWIM6* (pp.218-227), Dallas: ISTE and John Wiley.
16. Blab, R., Jacob, B. and Schachhuber, P. (1998). *Portable and Multiple-Sensor WIM systems trial (Trappes, June 1996), Final Report*. COST (European Cooperation in the Scientific and Technical research) and ISTU (Institut für Strassenbau und Strassenerhaltung), November, 1998.
17. Lavric, I, Znidaric, A. and Kalin, J. (2008, 18-22 de mayo). Improving bridge-WIM results with better road eveness and advanced compensations. En *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles-Weigh-in-Motion (ICWIM 5)* (pp. 283-296). París: ISTE and John Wiley.
18. Schmidt, F. and Jacob, B. (2012, 4-7 de junio). Experimentation of a bridge WIM system in France and applications to bridge monitoring and overload screening, En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion ICWIM6* (pp. 33-42). Dallas: ISTE and John Wiley.
19. Poulidakos, L. (2012). "Application of Weigh-In-Motion in Pavement Engineering. En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion ICWIM6* (pp. 485-492), Dallas: ISTE and John Wiley, 2012.
20. Abbas, A. et al. (2014). Effect of Traffic Load Input Level on Mechanistic-Empirical Pavement Design. *Transportation Research Record*, no. 2443: 63-77, TRB, Washington DC (doi: <http://dx.doi.org/10.3141/2443-08>).
21. Yousif et al. (2012). Evaluating the role of WIM in Mechanistic Pavement Analysis, En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion ICWIM6* (pp. 503-513), Dallas, ISTE and John Wiley.
22. Leal Bermejo, J., Pardillo Mayora, J. M. (2016). Aplicación del pesaje de vehículos en movimiento al dimensionamiento de firmes. Influencia de la precisión de los pesajes. *Informes de la Construcción*, 69(545): e181, enero-marzo 2017 (doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.054>).
23. Znidaric, A. et al. (2008). Measurement of bridge dynamics with a bridge WIM system, En *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles-Weigh-in-Motion (ICWIM 5)*, (pp. 485-498), Paris: ISTE and John Wiley.
24. Nowak, A. y Pakoczy, P. (2012). WIM-Based Simulation Model of Site Specific Live Load Effect on the Bridges. En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion (ICWIM6)* (pp. 409-417): Dallas: ISTE and John Wiley.
25. O'Connor, A. and O'Brien, E. (2005). Traffic Load Modelling and factors influencing the accuracy of predicted extremes, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 32, no. 1, pp. 270-278, (DOI 10.1139/LO4-1992).
26. Burnos, P. (2012). Automatic Vehicle Classification for WIM Systems. En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion ICWIM6*. Dallas: ISTE and John Wiley.
27. Kwigizile, V. (2004). *Conectionist Approach to Developing Highway vehicles Classification Table for use in Florida*. The Florida State University. Electronic

- Theses, Treatises and dissertations. Paper 3029.
(<http://diginole.lib.fsu.edu/etd>)
28. Doupal, E. y Calderara, R. (2008). Combined LS (Low Speed) and HS (High Speed) WIM systems for law enforcement and toll road applications. En *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles-Weigh-in-Motion (ICWIM 5)* (pp. 369-376), Paris: ISTE and John Wiley,
 29. E. Doupal et al. (2012). One year WIM Direct Enforcement Experiences in Czech Republic. En *Proceedings of the International Conference on Weigh-In-Motion (ICWIM6)*, (pp. 141-151), Dallas: ISTE and John Wiley.
 30. Mactavish, D. y Neumann, D.L. (1982). *Vehicle Classification Case Study for the Highway Performance Monitoring Systems*. Federal Highway Administration. Washington DC, Estados Unidos, 1982-8.
 31. Lyles, R.W. and Wyman, J. (1982). *Evaluation of vehicle classification equipment*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Extraído de <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?view=image;size=100;id=ien.35556021406228;page=root;seq=1>, Transportation library of Northwestern University.
 32. Wyman, J., Braley, G. y Stevens, R., (1985, enero). *Field evaluation of FHWA Vehicle Classification Categories*, Executive summary, Materials and Research, Technical Paper 84-5.
 33. Hernandez, S., Tok, A, y Ritchie, S. (2013, August). *Integration of Weigh-in-Motion and Inductive Signature Technology for Advanced Truck Monitoring*, Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine (UCI-ITS_WP-13-3).
 34. Hernandez, S., Tok, A, y Ritchie, S. (2015). Multiple-Classifiers Systems for Truck Body Classification at WIM Sites with Inductive Signature Data, En *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 11-15, 2015.
 35. Hallenbeck, M. (1995). Quality assurance and automated error detection for WIM and AVC equipment in the long term pavement performance (LTTP) project. En *First European Conference on weigh-in-motion of road vehicles* (pp. 279-288). COST-ETH (Swiss Federal institute of Technology), Zürich, 8-10, March 1995.
 36. Ackermann, G. et al. (2008). Current status of weigh-in-motion in Sub-Sahara Africa, En *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles-Weigh-in-Motion (ICWIM 5)* (pp. 57-67), Paris: ISTE and John Wiley.
 37. Hallenbeck, M. (1995). Seasonal patterns of truck loads and volumes in the United States, En *First European Conference on weigh-in-motion of road vehicles* (pp. 121-129). COST-ETH (Swiss Federal institute of Technology), Zürich, 8-10, March 1995.
 38. Luk, J. et al. (2010), *A Method to Correlate Weigh-in-Motion and Classification Data*, Austroads, Publication No. AP-T161/10. Sydney , Australia.
 39. Leal, J. (2008). Weigh-in-motion measurements in the national road network of Spain during the 2000-2003 period. Data collection procedure and main results. En *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles-Weigh-in-Motion (ICWIM 5)* (pp.71-84). París: ISTE and John Wiley.

40. Schmidt, F., Jacob, J. y Domprobst, F. (2016) Investigation of Truck Weight and Dimensions using WIM Data, En *Proceedings of 6th Transport Research Arena*. Warsaw, Poland, April 18-21, 2016.
41. Hernandez, S. (2017). Estimation of Average Payloads from Weigh-in-Motion Data, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2644, 2017, pp. 39-47. (<http://dx.doi.org/10.3141/2644-05>).
42. Glover, M., Newton, W. (1991). *Evaluation of a Multiple-sensor Weigh-In-Motion System*, TRRL Research Report 307. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne (UK).
43. Ma, S. y Caprez, M. (1995, 8-10 de marzo). The pavement roughness requirement for weigh-in-motion. En *First European Conference on Weigh-in-Motion of Road Vehicles*. Zurich: COST-ETH (Swiss Federal Institute of Technology).
44. Marcos, C. y Rebollo, M. D. (1999, 14-16 de diciembre). Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por carretera”, En *Jornada sobre Auscultación y Toma de datos para Planificación y Gestión de Carreteras*. Asociación Técnica de Carreteras, Cáceres, 2000.
45. Catálogo de vehículos industriales, carrocerías e industria de equipos componentes. *Transporte Profesional*, Catálogo 2017, BGO Editores S.L., nº 369, 2016.
46. Bevington, P. and Robinson, D. *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, Second edition, WCB- McGraw-Hill, 1992.
47. Sanchez del Río, C. *Análisis de errores*, EUDEMA (Ediciones de la Universidad Complutense), Madrid, 1989.
48. Davies, V. y Hathaway, P.J. (1998, 14-16 de septiembre). Étude de données de pesage en marche en Angleterre. En *Actes finaux de la 2ème Conference Européenne sur le pesage en marche des véhicules routiers* (pp. 65-72), Lisboa : ECSC-EEC-EAEC, EUR 18488. ISBN 92-828-3678-9.
49. Management Committee of the COST 323 Action (2002). Pavement Applications. En *COST 323 Weigh-in-Motion of Road Vehicles, Final report (1993-1998)* (pp. 29-52). París: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
50. AASTHO (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. Interim Edition: A Manual of Practice*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASTHO). Estados Unidos.
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/2appendices_AA.pdf.
51. Haider, S. W. et al. (2010). Effect of Axle Load Measurement Errors on Pavement Performance and Design Reliability. *Transportation Research Record* 2160: 107-117. Doi: <http://dx.doi.org/10.3141/2160-12>.
52. Tarefder, R., Rodríguez-Ruiz J.I. (2013). WIM data quality and its influence on predicted pavement performance. *Transportation Letters -The International Journal of Transportation Research*, 5(3): 154-163. doi: <http://dx.doi.org/10.1179/1942786713Z.00000000017>

ANEJO 1

DATOS REGISTRADOS DE LA MUESTRA AMPLIA DE VEHÍCULOS

1. Datos registrados automáticamente por el sistema de pesaje dinámico

Leyenda

- No: número de secuencia
- Date: Fecha de paso
- Time : hora-minuto-segundo de paso
- Lne: Carril
- AW: peso del eje (axle weight)
- GVM : Peso total del vehículo (Gross vehicle mass)
- AD: distancia entre ejes (axle distance)
- SPD: Velocidad
- Leng: Longitud
- ESAL: nº de ejes equivalentes de 8,2 t

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
519	150615	165217	1	6,2	7,5	3,1	3,3	3,4		23,5	3,8	6,0	1,2	1,3		91	17,4	4	1.08
524	150615	165259	1	6,6	12,5	6,2	6,1	6,4		37,8	3,9	5,9	1,3	1,2		91	17,4	4	5.69
529	150615	165412	1	6,0	12,1	6,6	6,9	6,6		38,2	3,8	5,9	1,3	1,3		91	16,5	4	5.26
533	150615	165427	1	5,5	6,6	2,9	3,4			18,4	4,2	7,3	1,3			87	17,4	4	0.65
540	150615	165509	1	6,8	11,9	8,0	7,7	8,1		42,5	3,9	5,2	1,3	1,2		91	14,8	4	5.96
541	150615	165520	1	6,0	6,7	3,1	3,3	2,1		21,2	3,9	5,7	1,3	1,3		91	16,7	4	0.76
549	150615	165606	1	6,6	11,5	6,4	6,8	7,0		38,3	3,8	6,0	1,3	1,2		91	17,0	4	4.75
558	150615	165701	1	7,3	14,1	4,7	4,3	4,3		34,7	3,7	6,0	1,3	1,3		90	17,5	4	7.68
564	150615	165742	1	1,2	2,6					3,8	3,6					95	7,0	5	0.01
577	150615	165924	1	5,6	8,7	4,2	3,8	3,3		25,6	3,8	6,0	1,3	1,3		89	17,2	4	1.56
590	150615	170145	1	6,1	11,1	6,3	6,4	7,1		37,0	4,1	5,9	1,2	1,3		86	16,1	4	4.16
596	150615	170237	1	6,1	10,8	3,0	3,0	3,0		25,9	4,1	5,9	1,2	1,3		88	16,3	4	3.19
611	150615	170351	1	6,6	7,0	3,6	3,4			20,6	3,6	6,1	1,2			84	13,9	4	1.01
634	150615	170647	1	6,2	9,9	9,1	8,3	8,4		41,9	3,8	3,2	1,3	1,3		92	12,4	4	4.46
635	150615	170714	1	6,8	12,5	7,1	7,1	7,1		40,6	3,7	4,7	1,3	1,3		87	14,7	4	6.13
655	150615	171045	1	4,6	8,9					13,5	4,0					91	7,4	3	1.49
657	150615	171052	1	5,8	6,6	3,4	4,1			19,9	4,0	7,6	1,3			90	17,7	5	0.73
674	150615	171334	1	6,0	8,2	4,0	4,8	4,8		27,8	3,9	6,3	1,3	1,3		91	17,9	4	1.45
677	150615	171401	1	6,4	11,9	8,1	8,8	8,5		43,7	3,9	3,1	1,3	1,3		92	12,6	4	6.28
682	150615	171429	1	6,7	12,4	4,8	4,5			28,4	4,2	7,1	1,3			91	17,3	5	5.16
683	150615	171436	1	6,7	13,5	4,1	4,0	4,2		32,5	3,7	6,1	1,3	1,3		90	17,3	4	6.57
695	150615	171611	1	6,2	10,3	3,9	4,2	3,9		28,5	4,0	6,2	1,3	1,3		92	17,6	4	2.82
696	150615	171614	1	6,8	8,6	3,8	3,8	3,8		26,8	3,9	5,7	1,3	1,3		93	16,5	4	1.78
697	150615	171627	1	5,8	10,7	7,7	8,4	8,5		41,1	4,0	3,6	1,3	1,4		92	13,4	4	4.71
699	150615	171638	1	6,6	11,8	6,5	6,4	6,2		37,5	3,8	6,0	1,2	1,3		90	16,3	4	4.92

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
700	150615	171640	1	6,1	10,2	5,8	5,7	5,8		33,6	3,7	5,8	1,3	1,3		86	16,8	4	3.04
5184	150616	100731	1	3,9	6,3					10,2	5,4					89	9,2	5	0.40
5187	150616	100801	1	6,8	12,3	7,1	6,8	7,2		40,2	3,7	5,9	1,3	1,3		83	16,9	4	5.85
5193	150616	100858	1	7,4	11,9	3,9	3,8	4,2		31,2	3,7	6,0	1,2	1,2		86	16,5	4	4.75
5208	150616	101053	1	5,8	9,7	5,3	5,4	5,8		32,0	3,8	6,1	1,3	1,2		90	17,0	4	2.51
5215	150616	101220	1	6,4	9,1	3,8	3,9	3,9		27,1	3,7	5,9	1,2	1,2		85	16,9	4	1.97
5217	150616	101251	1	6,9	8,9	8,0	7,6	7,7		39,1	3,9	6,0	1,3	1,3		92	17,1	4	3.28
5218	150616	101259	1	6,1	10,5	7,3	7,4	7,8		39,1	3,7	5,2	1,2	1,3		80	14,9	4	4.08
5219	150616	101304	1	6,6	11,1	5,5	5,4	5,8		34,4	3,8	5,9	1,2	1,3		89	16,5	4	3.91
5220	150616	101312	1	6,8	9,4	7,0	7,3	7,9		38,4	4,0	5,2	1,3	1,2		89	16,0	4	3.33
5221	150616	101331	1	5,8	13,2	5,6	5,8	5,8		36,2	3,8	6,1	1,2	1,3		89	16,9	4	6.25
5229	150616	101438	1	6,9	11,1	7,0	7,0			32,0	5,6	7,8	1,5			89	20,1	5	4.40
5233	150616	101504	1	6,6	13,0	7,0	6,8	7,0		40,4	3,6	6,1	1,3	1,3		88	17,0	4	6.63
5246	150616	101731	1	6,0	9,7	7,3	7,2	7,1		37,3	3,7	4,4	1,3	1,3		88	14,6	4	3.23
5247	150616	101734	1	6,5	10,3	4,4	4,1	4,4		29,7	4,2	5,9	1,3	1,2		88	16,4	4	2.92
5251	150616	101800	1	5,5	9,1					14,6	5,5					80	9,1	3	1.71
5252	150616	101819	1	6,5	11,2	6,6	6,4	7,0		37,7	3,6	6,1	1,3	1,2		88	16,4	4	4.38
5260	150616	101932	1	6,5	13,2	6,1	6,9	6,4		39,1	3,7	5,9	1,2	1,3		87	16,4	4	6.66
5264	150616	102008	1	6,4	14,7	6,6	6,2	6,2		40,1	3,7	5,4	1,2	1,3		89	15,3	4	8.84
5268	150616	102027	1	5,8	10,0	8,1	8,2	7,9		40,0	3,7	3,0	1,2	1,3		89	11,3	4	4.00
5270	150616	102041	1	6,3	11,8	6,0	6,9	7,4		38,4	3,7	6,0	1,3	1,2		88	15,8	4	5.01
5271	150616	102054	1	6,5	9,2	2,8	2,8	2,6		23,9	3,7	5,8	1,3	1,3		86	15,8	4	2.01
5282	150616	102220	1	7,1	14,7	6,0	6,0	6,6		40,4	3,6	5,8	1,2	1,2		81	16,4	4	8.99
5290	150616	102306	1	6,2	10,6	2,6	2,6	2,7		24,7	4,0	5,7	1,2	1,2		87	15,5	4	3.02
5291	150616	102309	1	6,3	12,5	6,2	7,1	7,0		39,1	3,5	5,9	1,2	1,2		83	15,3	4	5.83
5293	150616	102325	1	7,1	11,2	6,5				24,8	5,2	1,2				83	9,8	3	2.46

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
5302	150616	102448	1	6,2	10,7	6,3	7,2	7,4		37,8	3,7	4,7	1,2	1,3		88	15,1	4	3.98
5303	150616	102502	1	6,3	11,0	5,5	5,6	5,0		33,4	4,1	6,0	1,3	1,2		90	16,5	4	3.69
5311	150616	102601	1	6,1	7,8	4,3	4,5	4,7		27,4	3,8	5,9	1,3	1,2		88	17,2	4	1.28
5312	150616	102617	1	6,0	12,2	7,1	6,7	7,0		39,0	3,8	5,9	1,3	1,3		90	17,4	4	5.49
5313	150616	102641	1	7,3	9,8	5,8	5,9	7,9		36,7	3,7	6,2	1,3	1,2		89	17,8	4	3.33
5320	150616	102710	1	6,9	11,5	6,4	6,0	6,4		37,2	3,8	5,8	1,3	1,3		90	16,4	4	4.64
5321	150616	102716	1	6,5	10,4	2,7	2,4	3,0		25,0	3,8	5,8	1,3	1,3		86	17,1	4	2.92
5324	150616	102729	1	6,8	14,2	5,5	6,3	6,5		39,3	3,8	6,3	1,3	1,2		90	16,5	4	8.05
5325	150616	102757	1	5,8	7,8	4,6	4,9	4,7		27,8	3,6	6,0	1,3	1,3		86	16,6	4	1.25
5331	150616	102951	1	6,5	12,6	6,6	6,9	6,5		39,1	3,6	5,8	1,3	1,2		85	16,4	4	5.96
5337	150616	103038	1	5,6	8,5	3,7	3,7	3,8		25,3	3,8	5,8	1,2	1,3		88	16,4	4	1.45
5341	150616	103106	1	8,8	9,7	5,5				24,0	4,8	1,3				90	9,7	3	2.36
5343	150616	103132	1	6,3	11,3	6,5	6,6	6,9		37,6	3,8	6,0	1,2	1,2		87	16,5	4	4.43
5350	150616	103224	1	6,4	12,1	6,6	6,9	6,6		38,6	4,1	5,8	1,2	1,2		86	16,2	4	5.35
5351	150616	103256	1	6,7	11,2	5,5	5,5	5,5		34,4	3,8	5,8	1,3	1,2		89	16,7	4	4.02
5355	150616	103317	1	6,4	9,2	3,3	3,3	3,3		25,5	3,8	5,8	1,2	1,2		87	16,1	4	2.00
5362	150616	103424	1	6,1	8,1	4,4	4,6	4,5		27,7	3,6	5,7	1,3	1,3		88	16,3	4	1.41
5364	150616	103438	1	5,8	7,2	3,1	2,9	3,0		22,0	3,6	6,1	1,3	1,2		89	16,2	4	0.88
5365	150616	103451	1	5,9	11,4	5,9	6,2	5,9		35,3	3,8	4,4	1,2	1,3		77	14,3	4	4.20
5366	150616	103515	1	6,4	12,5	7,9	7,6	7,2		41,6	3,8	5,1	1,2	1,2		86	15,2	4	6.31
5369	150616	103544	1	6,6	8,9	4,3	4,2	4,4		28,4	3,8	5,7	1,2	1,2		89	16,4	4	1.94
5379	150616	103703	1	5,9	7,0	3,1	2,6	2,9		21,5	3,7	6,2	1,3	1,2		90	17,0	4	0.83
5381	150616	103713	1	6,6	12,8	6,0	6,2	6,3		37,9	3,8	6,0	1,2	1,3		91	16,8	4	6.04
5390	150616	103815	1	6,0	5,7	2,4	1,5	2,1		17,7	3,8	5,6	1,3	1,3		86	14,8	4	0.53
5395	150616	103843	1	4,4	4,9					9,3	4,0					81	7,3	3	0.19
5401	150616	103922	1	6,2	10,6	6,9	6,6	7,8		38,1	3,8	4,7	1,3	1,3		85	14,1	4	3.96

No	Date	Time	Line	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
5402	150616	103935	1	6,5	8,6	3,2	3,0			21,3	3,8	7,3	1,3			89	17,4	4	1.65
5412	150616	104040	1	1,8	3,9					5,7	4,2					89	7,9	5	0.05
5415	150616	104101	1	6,7	14,0	5,7	5,5	5,4		37,3	3,8	6,1	1,2	1,2		85	17,0	4	7.54
5423	150616	104139	1	6,9	12,4	6,7	6,8	6,9		39,7	3,8	5,7	1,3	1,2		93	16,9	4	5.89
5425	150616	104152	1	6,3	8,4	4,2	3,8	4,0		26,7	3,7	5,9	1,2	1,3		88	16,9	4	1.55
5429	150616	104226	1	6,5	11,7	7,9	8,4	8,3		42,8	3,8	6,0	1,2	1,3		90	17,1	4	5.86
5433	150616	104252	1	5,5	5,3	3,1	3,0			16,9	4,0	6,1	1,3			88	15,1	4	0.38
5437	150616	104314	1	6,0	10,3	7,3	5,4	5,5		34,5	4,2	5,0	1,3	1,3		86	15,8	4	3.19
5438	150616	104330	1	6,7	11,1	6,0	5,5	6,4		35,7	3,8	5,9	1,3	1,2		91	17,4	4	4.07
5444	150616	104422	1	6,1	5,5	11,9	7,5			31,0	1,9	4,0	1,3			88	11,5	3	3.16
5450	150616	104510	1	6,2	7,6	3,2	3,5	3,5		24,0	4,1	5,9	1,3	1,2		88	16,6	4	1.13
5452	150616	104520	1	7,3	13,0	5,4	5,5	5,8		37,0	3,9	5,9	1,3	1,2		90	17,3	4	6.32
5457	150616	104613	1	6,4	6,9	2,9	2,6	3,6		22,4	3,8	6,0	1,3	1,3		90	17,0	4	0.91
5459	150616	104630	1	6,4	14,1	4,4	3,8	4,3		33,0	4,2	6,0	1,3	1,3		88	16,6	4	7.38
5470	150616	104755	1	6,5	11,1	8,4	8,3	7,9		42,2	3,7	3,1	1,2	1,3		89	12,1	4	5.24
5471	150616	104810	1	6,0	11,6	6,9	7,2	6,8		38,5	4,1	2,9	1,3	1,3		88	12,0	4	4.83
5472	150616	104817	1	6,2	11,5	6,1	9,0	6,5		39,3	3,8	3,6	1,3	1,2		91	12,6	4	4.89
5474	150616	104850	1	6,9	8,5					15,4	6,4					86	9,4	5	1.69
5475	150616	104901	1	6,6	12,3	7,1	7,4	7,5		40,9	3,8	5,0	1,3	1,3		87	14,6	4	5.97
5481	150616	105009	1	5,4	5,5	5,3	4,5	4,8	5,5	31,0	3,3	1,3	6,6	1,3	1,3	90	17,0	4	0.61
5486	150616	105029	1	6,2	12,5	5,6	5,7	6,0		36,0	3,6	6,1	1,3	1,3		87	16,1	4	5.43
5493	150616	105121	1	6,4	11,0	4,8	5,0	4,9		32,1	3,6	6,0	1,2	1,3		84	16,9	4	3.61
5496	150616	105136	1	6,5	11,4	8,2	7,5	7,8		41,4	3,8	4,7	1,3	1,3		90	13,9	4	5.26
5498	150616	105143	1	6,9	11,8	7,0	6,9	7,2		39,8	3,6	5,2	1,3	1,2		88	15,2	4	5.31
5508	150616	105252	1	6,4	8,5	3,5	3,4	3,6		25,4	3,9	6,0	1,3	1,3		90	17,0	4	1.60
5511	150616	105318	1	3,9	5,5					9,4	4,8					90	8,6	5	0.23

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
5524	150616	105534	1	6,7	11,8	6,3	6,8	6,7		38,3	3,8	6,0	1,3	1,3		90	16,9	4	5.04
5529	150616	105617	1	5,8	8,9					14,7	5,6					90	9,8	5	1.65
5531	150616	105626	1	7,5	10,4					17,9	6,3					89	10,1	5	3.22
5538	150616	105710	1	7,1	12,6	7,0	6,8	7,5		41,0	3,7	6,1	1,2	1,2		89	16,6	4	6.35
5540	150616	105804	1	5,4	8,9	3,5	3,1	2,7		23,6	3,8	6,1	1,2	1,3		83	17,1	4	1.60
5544	150616	105820	1	7,0	13,2	6,2	6,5	6,3		39,2	4,2	5,7	1,2	1,3		88	16,4	4	6.75
5547	150616	105845	1	6,3	9,3	5,2	5,0	5,3		31,1	3,9	5,8	1,3	1,2		90	17,1	4	2.25
5552	150616	105956	1	5,9	12,8	6,5	6,5	7,1		38,8	3,8	6,1	1,2	1,3		90	16,8	4	6.10
5554	150616	110024	1	5,7	7,0	4,8	4,5			22,0	3,7	7,2	1,3			90	17,1	5	0.90
5556	150616	110039	1	5,9	10,8	6,2	6,2	6,5		35,6	3,9	6,0	1,3	1,3		88	17,3	4	3.71
5562	150616	110212	1	5,0	6,9					11,9	5,5					87	10,3	3	0.64
5570	150616	110331	1	6,3	10,2	2,5	2,4	2,8		24,2	4,2	6,1	1,3	1,3		90	16,8	4	2.70
5577	150616	110423	1	5,4	7,1					12,5	4,3					88	7,6	3	0.75
5581	150616	110450	1	6,0	9,4	4,8	4,2	4,5		28,9	4,2	5,9	1,3	1,3		92	16,4	4	2.14
5583	150616	110504	1	6,9	12,4	7,2	7,0	6,9		40,4	3,6	5,3	1,3	1,2		89	15,9	4	6.00
5591	150616	110552	1	5,7	7,0	4,1	4,2	3,8		24,8	3,7	6,0	1,3	1,3		88	16,9	4	0.86
5601	150616	110739	1	6,0	6,5	3,3	3,1	3,2		22,1	3,7	6,0	1,3	1,2		90	16,7	4	0.72
5614	150616	110908	1	6,7	13,0	6,2	5,7	6,4		38,0	3,8	6,1	1,2	1,3		89	16,5	4	6.30
5624	150616	111023	1	6,0	8,6	4,0	4,3	4,4		27,3	3,8	6,2	1,3	1,3		90	16,6	4	1.62
5629	150616	111050	1	5,9	11,2	7,0	7,1	6,7		37,9	4,2	4,1	1,2	1,3		81	14,3	4	4.38
5631	150616	111105	1	6,1	8,3	3,5	3,7	3,9		25,5	3,6	6,2	1,3	1,3		88	16,9	4	1.44
5636	150616	111215	1	5,8	8,1	2,8	2,3	3,0		22,0	3,8	6,0	1,3	1,2		86	16,3	4	1.24
5640	150616	111312	1	4,9	7,1					12,0	5,4					90	9,2	5	0.69
5641	150616	111320	1	6,4	12,4	7,9	8,0	7,7		42,4	3,8	3,1	1,3	1,2		88	11,9	4	6.39
5649	150616	111431	1	6,3	8,5	4,4	4,7	5,2		29,1	4,1	5,9	1,3	1,2		90	16,2	4	1.70
5653	150616	111457	1	6,5	10,5	4,0	3,6	3,9		28,5	3,9	5,3	1,3	1,3		85	15,5	4	3.05

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
5654	150616	111507	1	5,9	13,4	5,8	5,9	6,5		37,5	3,8	6,1	1,3	1,3		90	16,7	4	6.65
5655	150616	111514	1	6,8	10,4	6,4	5,7	6,2		35,5	3,7	6,0	1,2	1,3		91	16,5	4	3.49
5660	150616	111602	1	4,2	6,1					10,3	3,6					84	6,9	5	0.37
5665	150616	111643	1	5,7	10,4	3,6	4,0	4,1		27,8	3,7	5,9	1,2	1,3		90	15,9	4	2.80
5678	150616	111846	1	6,8	12,9	5,9	5,9	5,9		37,4	3,6	6,0	1,2	1,3		89	16,8	4	6.14
5690	150616	112050	1	5,5	9,8	3,8	3,7			22,8	6,0	8,1	1,3			90	19,1	5	2.25
5695	150616	112135	1	6,1	11,5	7,9	8,1	8,7		42,3	3,6	3,2	1,2	1,3		87	12,1	4	5.58
5705	150616	112321	1	5,6	8,2	4,7	5,0	4,8		28,3	3,9	5,9	1,3	1,3		90	16,4	4	1.42
5712	150616	112444	1	6,1	6,6	2,6	3,0	2,3		20,6	3,7	6,1	1,2	1,3		89	15,8	4	0.75
5716	150616	112523	1	6,3	8,8	5,7	5,5	5,5		31,8	3,9	5,9	1,3	1,3		90	16,6	4	2.05
5724	150616	112618	1	4,8	4,9					9,7	4,7					88	7,5	5	0.22
5731	150616	112725	1	5,9	8,4	6,2	6,1	5,8		32,4	4,2	5,0	1,3	1,2		88	15,3	4	1.88
5737	150616	112803	1	6,1	12,9	6,7	6,9	6,7		39,3	3,8	5,2	1,2	1,3		89	14,7	4	6.30
5738	150616	112820	1	5,1	7,4					12,5	3,8					88	6,9	3	0.81
5742	150616	112840	1	6,7	6,3	3,8	3,9			20,7	4,1	7,1	1,3			88	15,9	4	0.86
5746	150616	112915	1	5,7	8,3	3,5	3,5	3,9		24,9	3,7	5,8	1,2	1,2		86	15,5	4	1.36
5751	150616	113025	1	6,6	13,0	4,2	5,9	6,2		35,9	3,8	4,2	1,2	1,3		88	13,3	4	6.07
5753	150616	113037	1	5,3	6,4	2,8	2,8	3,1		20,4	3,5	5,8	1,2	1,2		83	15,3	4	0.56
5759	150616	113136	1	7,0	14,2	6,0	6,3	5,5		39,0	3,5	5,8	1,2	1,2		86	15,8	4	8.06
5765	150616	113229	1	5,9	8,4	3,5	3,6	3,8		25,2	3,5	5,4	1,2	1,2		85	15,6	4	1.44
5766	150616	113233	1	6,7	12,2	6,5	6,9	6,5		38,8	3,7	5,6	1,2	1,2		85	15,7	4	5.51
5770	150616	113333	1	6,7	7,6	3,6	3,2	3,4		24,5	3,8	5,6	1,2	1,2		86	15,9	4	1.25
5772	150616	113347	1	5,8	7,5	4,1	4,5	4,5		26,4	4,0	5,8	1,2	1,2		87	16,0	4	1.08
5783	150616	113540	1	6,8	12,5	6,4	6,5	6,4		38,6	3,6	5,9	1,2	1,2		87	16,3	4	5.82
5785	150616	113608	1	6,2	11,1	7,7	7,5			32,5	3,7	8,4	1,3			82	18,0	5	4.51
5786	150616	113618	1	5,9	8,8	3,1	3,6	3,6		25,0	3,7	5,9	1,3	1,2		86	15,9	4	1.65

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
5789	150616	113629	1	6,2	8,4	3,9	4,0	3,9		26,4	3,7	5,5	1,2	1,3		86	16,3	4	1.53
5791	150616	113643	1	3,9	6,0					9,9	5,3					80	9,5	5	0.33
5797	150616	113718	1	6,0	10,2	3,4	3,6	3,3		26,5	3,6	5,6	1,2	1,2		85	15,0	4	2.66
5800	150616	113742	1	5,5	5,7	2,7	2,9	2,8		19,6	3,5	5,8	1,2	1,2		86	15,7	4	0.44
5803	150616	113813	1	6,9	10,8	7,6	8,3			33,6	3,8	8,3	1,3			85	18,0	5	4.61
5805	150616	113823	1	6,1	8,2	4,7	4,7	5,4		29,1	3,7	5,7	1,2	1,2		83	15,8	4	1.52
5822	150616	114117	1	5,7	8,9	4,4	4,4	4,6		28,0	3,7	5,9	1,2	1,2		87	16,1	4	1.76
5825	150616	114148	1	6,5	12,7	6,7	6,1	5,9		37,9	3,8	4,6	1,2	1,2		84	14,6	4	5.91
5826	150616	114203	1	6,0	6,8	3,2	2,6	3,1		21,7	3,6	5,8	1,2	1,2		79	15,7	4	0.79
5828	150616	114209	1	6,5	11,2	7,6	7,5	7,2		40,0	3,6	5,1	1,2	1,2		86	14,7	4	4.79
5830	150616	114225	1	5,0	5,8	3,4	3,1			17,3	3,8	5,5	1,3			90	14,2	4	0.40
5834	150616	114256	1	6,3	7,9	3,5	4,2	3,8		25,7	4,1	5,8	1,2	1,3		87	15,8	4	1.30
5840	150616	114330	1	3,6	5,3					8,9	4,4					85	7,5	5	0.19
5851	150616	114658	1	6,2	10,1	6,6	6,9	7,3		37,1	3,5	5,6	1,3	1,2		86	15,6	4	3.44
5859	150616	114736	1	7,3	11,4	8,0	8,2	7,9		42,8	3,8	5,9	1,2	1,3		88	16,5	4	5.65
5864	150616	114805	1	6,2	8,7	2,1	2,3	2,7		22,0	3,7	6,0	1,3	1,3		85	17,1	4	1.62
5869	150616	114844	1	6,9	9,8	5,4	5,5	5,4		33,0	3,9	6,0	1,2	1,3		87	16,9	4	2.82
5874	150616	114913	1	6,8	7,0	3,2	3,3			20,3	3,9	6,7	1,3			91	15,6	4	1.05
5880	150616	114957	1	7,0	12,4	7,9	7,0	7,5		41,8	3,7	5,2	1,3	1,2		87	15,8	4	6.29
5883	150616	115015	1	6,6	9,3	4,9	4,7	5,0		30,5	4,0	5,7	1,3	1,3		90	16,8	4	2.27
5895	150616	115201	1	6,1	9,7	6,4	6,3	6,7		35,2	3,8	5,9	1,3	1,3		88	17,3	4	2.90
5899	150616	115232	1	5,6	7,4	4,7	4,3			22,0	3,6	5,7	1,3			88	15,2	4	1.01
5915	150616	115535	1	6,8	13,7	5,8	5,8	6,0		38,1	3,9	5,9	1,3	1,3		90	17,0	4	7.23
5937	150616	115934	1	6,1	8,7	4,8	4,5	4,6		28,7	3,6	6,0	1,2	1,2		87	16,4	4	1.74
5977	150616	120533	1	6,0	12,8	4,2	7,7	8,1		38,8	4,1	3,1	1,2	1,2		87	12,0	4	6.09
5988	150616	120703	1	6,2	11,1	6,9	6,7	7,1		38,0	3,9	5,0	1,3	1,3		87	15,0	4	4.32

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
6000	150616	120846	1	7,1	13,2	8,0	7,4	8,4		44,1	3,6	4,7	1,3	1,2		88	13,4	4	7.67
6003	150616	120919	1	7,2	9,4	5,2	6,1	5,7		33,6	3,8	6,1	1,2	1,3		87	16,9	4	2.70
6006	150616	120933	1	6,9	12,3	7,0	7,2	7,0		40,4	3,6	6,1	1,3	1,2		88	16,8	4	5.90
6007	150616	121037	1	6,0	8,0	4,0	3,6	3,7		25,3	3,7	6,0	1,3	1,3		90	17,0	4	1.28
6011	150616	121134	1	6,8	11,6	7,2	7,5	7,7		40,8	3,6	6,0	1,3	1,2		87	16,4	4	5.31
6013	150616	121143	1	5,7	6,7	2,8	2,5	2,6		20,3	3,6	5,6	1,3	1,3		91	15,4	4	0.70
6015	150616	121154	1	6,5	8,1	4,5	4,5			23,6	3,8	7,4	1,3			88	16,9	5	1.48
6036	150616	121437	1	6,6	11,8	5,9	5,9	5,7		35,9	4,2	5,6	1,3	1,2		89	16,6	4	4.73
6049	150616	121753	1	6,8	7,8	5,8	6,7	7,2		34,3	3,7	5,1	1,3	1,3		88	15,6	4	2.01
6054	150616	121830	1	7,1	14,1	6,2	6,8	6,8		41,0	3,8	5,7	1,2	1,3		91	16,4	4	8.19
6058	150616	121930	1	6,5	11,7	7,9	7,6	7,7		41,4	3,7	5,8	1,3	1,2		88	15,5	4	5.51
6059	150616	121942	1	6,2	13,2	5,6	6,0	6,3		37,3	3,8	5,8	1,2	1,3		90	16,5	4	6.41
6061	150616	122024	1	5,8	10,9	7,1	7,6	7,7		39,1	3,8	3,1	1,2	1,3		85	11,9	4	4.37
6070	150616	122148	1	6,8	12,6	5,3	4,9	5,2		34,8	3,6	6,0	1,2	1,2		87	15,8	4	5.54
6072	150616	122205	1	6,6	11,3	6,9	6,8	7,2		38,8	3,7	3,0	1,2	1,2		86	11,3	4	4.65
6078	150616	122314	1	2,0	2,6					4,6	3,6					87	6,5	5	0.01
6081	150616	122407	1	7,0	13,2	6,5	6,7	6,2		39,6	3,8	6,0	1,2	1,2		90	16,7	4	6.80
6084	150616	122435	1	7,2	11,7	8,7	8,9	9,2		45,7	3,8	3,8	1,3	1,2		90	12,6	4	6.73
6088	150616	122446	1	6,7	6,5	3,9	2,9			20,0	3,6	7,0	1,3			88	15,1	5	0.89
6091	150616	122459	1	7,3	12,0	7,5	7,2	7,1		41,1	3,7	5,9	1,2	1,2		89	16,5	4	5.79
6093	150616	122522	1	6,4	10,6	6,6	7,7	6,4		37,7	3,8	6,0	1,2	1,3		89	16,9	4	3.90
6095	150616	122533	1	6,8	12,4	6,4	6,8	6,5		38,9	3,8	6,0	1,3	1,2		83	16,8	4	5.75
6105	150616	122648	1	3,6	5,3					8,9	5,4					90	9,6	5	0.19
6107	150616	122708	1	6,6	10,7	5,4	5,6	5,9		34,2	3,9	5,9	1,2	1,3		82	16,8	4	3.55
6109	150616	122719	1	6,5	8,7	4,9	5,2	5,2		30,5	3,6	5,7	1,3	1,2		87	16,3	4	1.91
6113	150616	122741	1	7,4	13,8	8,0	7,6	7,9		44,7	4,1	5,5	1,2	1,3		91	15,7	4	8.55

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
6167	150616	123656	1	6,6	9,3	4,7	5,0	4,6		30,2	3,9	5,6	1,2	1,2		85	16,5	4	2.25
6169	150616	123708	1	7,1	12,4	6,4	6,8	7,1		39,8	3,7	5,9	1,3	1,2		87	16,8	4	5.93
6176	150616	123810	1	6,6	11,9	7,1	7,7	7,5		40,8	3,6	4,5	1,2	1,3		86	14,0	4	5.56
6177	150616	123820	1	7,2	12,2	6,8	7,3	7,0		40,5	3,9	7,0	1,3	1,3		75	18,0	4	5.86
6181	150616	123837	1	7,2	11,5	7,3	7,2	6,9		40,1	3,7	6,0	1,2	1,3		91	16,9	4	5.13
6192	150616	124102	1	5,9	7,6	4,2	4,2	4,3		26,2	3,8	5,7	1,3	1,2		89	16,5	4	1.13
6201	150616	124306	1	5,4	6,4	3,3	3,2	3,4		21,7	3,8	6,9	1,2	1,2		87	16,1	4	0.58
6206	150616	124405	1	5,4	7,3	2,1	3,4	2,4		20,6	3,6	6,2	1,2	1,3		88	17,0	4	0.83
6212	150616	124447	1	4,9	7,5	3,8	3,5	3,4		23,1	4,1	6,0	1,3	1,3		89	16,9	4	0.88
6215	150616	124511	1	6,7	9,8	7,8	8,3	8,2		40,8	3,7	5,9	1,3	1,2		88	16,7	4	4.08
6221	150616	124549	1	6,4	7,9	3,4	3,4	3,4		24,5	3,8	5,8	1,2	1,2		88	16,7	4	1.30
6239	150616	124845	1	6,1	7,5	4,1	4,0	4,0		25,7	3,8	5,8	1,2	1,3		88	16,6	4	1.11
6240	150616	124900	1	6,1	6,7	3,0	2,9	3,1		21,8	3,7	6,2	1,3	1,2		93	16,7	4	0.79
6242	150616	124912	1	7,0	13,3	7,8	7,7	7,7		43,5	3,6	6,2	1,3	1,3		90	16,4	4	7.63
6243	150616	124927	1	6,1	9,4	4,7	4,8	4,4		29,4	3,9	6,0	1,2	1,3		87	16,8	4	2.18
6245	150616	124941	1	6,6	12,2	7,2	6,1	7,0		39,1	3,7	5,9	1,3	1,2		88	16,8	4	5.55
6255	150616	125147	1	6,8	10,2	5,5	5,4	5,7		33,6	3,9	5,9	1,2	1,2		89	16,4	4	3.14
6256	150616	125200	1	6,6	11,1	7,8	8,2	7,8		41,5	3,9	5,8	1,3	1,2		90	16,6	4	5.06
6261	150616	125255	1	6,4	8,2	3,9	3,5	4,0		26,0	4,1	5,9	1,3	1,2		91	16,4	4	1.46
6268	150616	125435	1	6,4	8,1	5,6	4,6	4,9		29,6	3,9	5,7	1,2	1,2		84	16,4	4	1.57
6272	150616	125501	1	3,7	4,7					8,4	3,7					95	6,9	3	0.13
6273	150616	125513	1	6,1	12,0					18,1	5,9					87	9,9	3	4.41
6278	150616	125545	1	7,3	13,0	6,8	7,5	7,4		42,0	3,7	5,8	1,2	1,2		88	16,5	4	7.01
6280	150616	125642	1	6,7	8,9	4,4	4,0	4,9		28,9	3,8	5,6	1,3	1,2		88	16,6	4	1.98
6281	150616	125715	1	6,2	6,6	3,7	3,2	3,0		22,7	3,6	5,9	1,2	1,2		90	16,0	4	0.79
6284	150616	125741	1	6,5	11,6	7,6	6,8	7,8		40,3	4,1	5,6	1,2	1,2		87	16,4	4	5.19

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
6288	150616	125756	1	6,0	7,8	4,5	4,1	5,3		27,7	3,5	6,8	1,3	1,2		86	15,0	4	1.28
6294	150616	125851	1	6,8	10,8	4,8	4,9	5,1		32,4	3,8	5,6	1,3	1,2		88	16,5	4	3.53
6339	150616	130650	1	5,7	7,2	3,9	3,5			20,3	5,4	6,6	1,2			84	16,5	5	0.89
6343	150616	130730	1	6,2	8,3	3,4	3,1	3,3		24,3	3,8	6,1	1,3	1,2		88	16,3	4	1.44
6349	150616	130823	1	5,8	11,6	5,4	5,3	5,4		33,5	3,6	5,8	1,2	1,2		90	15,3	4	4.19
6367	150616	131303	1	7,6	7,2	2,6	2,6	2,4		22,4	3,8	6,4	1,2	1,2		86	16,1	4	1.38
6370	150616	131510	1	6,0	9,1	4,3	3,5	3,5		26,4	3,7	5,9	1,2	1,2		86	15,5	4	1.88
6387	150616	131713	1	6,1	8,7	3,1	3,2	3,3		24,4	3,5	5,4	1,2	1,2		83	14,9	4	1.63
6388	150616	131727	1	2,2	3,8					6,0	4,0					85	7,5	3	0.04
6401	150616	131940	1	6,2	7,1	4,2	4,5			22,0	3,6	7,0	1,2			88	15,3	5	1.00
6406	150616	132049	1	6,0	6,7	3,5	3,0	3,0		22,2	3,7	5,7	1,3	1,2		88	15,7	4	0.77
6424	150616	132328	1	6,2	10,0	7,6	7,4	7,7		38,9	3,8	4,0	1,2	1,2		88	13,8	4	3.73
6429	150616	132406	1	5,1	6,2	3,3	3,4			18,0	6,1	7,0	1,3			89	19,1	5	0.50
6435	150616	132434	1	6,3	8,4	4,8	5,1	5,1		29,7	4,1	5,6	1,3	1,2		90	16,5	4	1.68
6436	150616	132436	1	7,2	12,5	7,8	8,1	8,5		44,1	3,8	5,2	1,3	1,2		89	15,7	4	6.95
6450	150616	132638	1	5,7	7,5	3,0	2,7	2,9		21,8	3,7	5,7	1,3	1,2		89	17,1	4	0.97
6451	150616	132702	1	6,0	8,2	2,9	2,9	3,4		23,4	3,8	6,0	1,2	1,3		90	16,9	4	1.34
6452	150616	132722	1	1,0	2,2					3,2	3,2					105	6,6	2	0.00
6458	150616	132824	1	4,9	8,8					13,7	5,3					89	11,0	3	1.46
6482	150616	133418	1	6,2	7,6	4,2	3,8	4,2		26,0	3,7	6,1	1,4	1,3		89	17,1	4	1.17
6486	150616	133451	1	5,3	10,9	7,8	7,7	8,0		39,7	3,8	3,2	1,2	1,3		91	12,3	4	4.52
6493	150616	133613	1	6,6	11,6	7,1	7,0	7,2		39,5	3,6	6,0	1,3	1,3		91	17,0	4	5.04
6494	150616	133623	1	5,7	6,3	3,9	3,8	3,1		22,8	3,9	5,6	1,3	1,2		83	16,5	4	0.64
6496	150616	133657	1	6,4	12,8	7,2	6,8	7,4		40,6	3,7	5,5	1,3	1,2		87	15,2	4	6.42
6498	150616	133712	1	6,8	12,1	7,5	7,4	7,1		40,9	3,7	5,8	1,3	1,3		89	17,1	4	5.79
6499	150616	133722	1	6,8	13,4	6,8	7,1	7,0		41,1	3,8	5,8	1,2	1,2		82	16,7	4	7.25

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
6503	150616	133808	1	6,6	8,6	5,5	5,8	6,0		32,5	3,6	5,8	1,3	1,3		86	16,4	4	2.05
6507	150616	133905	1	6,7	11,9	5,7	5,1	6,2		35,6	3,8	5,8	1,3	1,2		87	16,9	4	4.81
6509	150616	133937	1	6,6	12,1	7,2	8,0	6,8		40,7	3,8	6,0	1,3	1,2		88	16,8	4	5.73
6511	150616	133952	1	5,5	6,2	3,1	3,3	2,9		21,0	3,8	6,5	1,3	1,3		90	17,2	4	0.54
6514	150616	134049	1	5,8	5,5	2,9	2,1	3,1		19,4	3,9	5,9	1,3	1,2		86	16,7	4	0.47
6515	150616	134101	1	6,6	12,0	6,7	6,7	6,8		38,8	3,6	6,1	1,3	1,2		87	16,2	4	5.30
6530	150616	134245	1	6,4	11,4					17,8	4,8					90	10,0	3	3.83
6542	150616	134358	1	7,0	12,1	7,2	7,2	7,3		40,8	3,8	5,0	1,3	1,3		89	15,3	4	5.79
6547	150616	134456	1	6,5	8,8	5,6	6,2	5,8		32,9	3,6	6,0	1,3	1,2		89	17,0	4	2.18
6551	150616	134523	1	7,1	10,8	7,6	7,6	7,7		40,8	3,8	5,8	1,3	1,3		88	17,2	4	4.71
6559	150616	134618	1	7,4	13,5	4,8	5,5	5,6		36,8	3,9	6,0	1,2	1,3		82	17,0	4	6.98
6564	150616	134658	1	7,9	13,1	7,9	7,8	7,2		43,9	3,8	5,9	1,3	1,2		89	17,2	4	7.63
6567	150616	134730	1	5,5	8,6	4,6	4,4			23,1	5,7	6,7	1,5			89	18,4	4	1.52
6574	150616	134848	1	4,7	10,6					15,3	6,1					100	11,8	5	2.77
6576	150616	134902	1	5,4	4,9	2,8	2,6			15,7	3,9	5,3	1,2			92	13,4	5	0.30
6584	150616	135025	1	6,6	12,1	6,5	6,7	6,6		38,5	3,7	6,0	1,3	1,2		89	16,9	4	5.35
12397	150617	100610	1	6,7	11,2	6,2	6,0	6,9		37,0	3,7	6,0	1,3	1,3		88	17,1	4	4.30
12452	150617	101456	1	6,5	12,5	6,1	5,7	6,6		37,4	3,8	5,9	1,2	1,2		87	17,1	4	5.57
12454	150617	101528	1	6,8	12,7	6,2	6,7	6,8		39,2	3,6	6,0	1,2	1,2		84	17,1	4	6.17
12471	150617	102032	1	4,0	5,9					9,9	3,7					80	6,6	5	0.32
12473	150617	102048	1	6,5	8,7	4,6	5,2	4,4		29,4	3,8	5,7	1,3	1,3		90	17,3	4	1.85
12474	150617	102106	1	6,8	13,6	3,9	3,4	3,9		31,6	3,7	6,1	1,3	1,3		90	17,1	4	6.74
12481	150617	102150	1	6,0	7,0	3,2	3,0	3,4		22,6	3,9	6,0	1,2	1,3		87	17,4	4	0.85
12484	150617	102228	1	5,7	11,2	5,9	6,2	5,7		34,7	3,8	3,9	1,3	1,3		83	13,2	4	3.92
12490	150617	102331	1	6,1	10,5	6,9	6,9	7,1		37,5	3,7	5,3	1,2	1,3		86	15,7	4	3.78
12495	150617	102411	1	6,2	12,0	7,8	8,0	7,9		41,9	3,8	5,9	1,2	1,3		85	17,1	4	5.82

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
12504	150617	102530	1	6,1	9,8	5,0	4,6	5,2		30,7	3,7	6,1	1,3	1,2		89	17,0	4	2.49
12507	150617	102607	1	5,6	8,0	3,4	3,3	3,4		23,7	3,9	6,0	1,3	1,2		85	17,2	4	1.13
12515	150617	102728	1	6,6	10,9	7,0	7,8	7,9		40,2	3,9	5,6	1,2	1,3		90	17,1	4	4.58
12517	150617	102810	1	6,1	12,2	7,5	7,6	7,4		40,8	3,6	5,9	1,3	1,3		83	15,5	4	5.77
12525	150617	102942	1	6,7	12,7	4,9	5,1	5,6		35,0	3,9	6,0	1,3	1,3		85	17,6	4	5.72
12527	150617	103005	1	6,7	13,6	5,8	6,3	6,3		38,7	3,8	6,0	1,3	1,3		88	16,8	4	7.17
12532	150617	103032	1	7,5	12,3	6,3	6,6	6,6		39,3	3,9	6,2	1,3	1,3		85	16,6	4	5.77
12533	150617	103045	1	6,1	10,6	7,1	8,3			32,1	3,9	8,7	1,3			89	19,5	5	4.09
12537	150617	103115	1	6,1	8,1	4,2	4,2	4,3		26,9	4,1	5,9	1,2	1,2		89	16,7	4	1.39
12539	150617	103128	1	6,1	8,0	5,8	5,8	5,6		31,3	3,8	5,7	1,3	1,3		90	16,6	4	1.63
12540	150617	103140	1	7,4	12,9	3,0	3,6	3,6		30,5	3,8	5,7	1,2	1,3		91	16,6	4	5.98
12548	150617	103220	1	6,3	7,1	3,4	3,2	3,1		23,1	3,8	5,9	1,3	1,3		90	16,6	4	0.94
12559	150617	103455	1	6,6	10,1	6,2	6,8			29,7	5,6	7,6	1,5			90	19,9	5	3.17
12560	150617	103509	1	7,0	13,1	4,9	4,9	5,0		34,9	3,8	6,0	1,2	1,3		89	16,6	4	6.26
12562	150617	103520	1	6,0	10,0	2,6	3,3	2,8		24,7	3,8	6,1	1,2	1,2		84	16,6	4	2.44
12569	150617	103619	1	6,8	11,8	7,6	6,8	7,1		40,1	3,7	5,7	1,2	1,2		84	14,9	4	5.30
12570	150617	103627	1	6,7	13,8	6,1	6,5	6,8		39,9	3,7	5,8	1,2	1,3		88	17,8	4	7.57
12571	150617	103634	1	5,7	6,6	2,8	3,5			18,6	3,8	6,7	1,3			86	16,5	4	0.68
12579	150617	103747	1	6,5	4,0	3,7	3,4	3,5		21,1	3,8	6,0	1,3	1,3		90	17,6	4	0.50
12582	150617	103800	1	6,3	7,3	4,4	3,9	4,1		26,0	3,6	5,9	1,3	1,2		88	17,0	4	1.07
12594	150617	103903	1	6,0	7,2	3,2	3,1			19,5	3,7	7,6	1,3			88	17,4	5	0.90
12599	150617	104007	1	7,1	7,9	4,2	3,7	3,7		26,6	4,0	5,8	1,3	1,2		87	16,8	4	1.48
12602	150617	104025	1	6,8	13,4	6,2	6,4	5,8		38,6	3,8	6,0	1,2	1,3		87	17,5	4	6.92
12604	150617	104105	1	6,3	9,5	7,6	7,7	7,9		39,0	4,0	6,1	1,3	1,2		89	17,8	4	3.42
12609	150617	104146	1	5,7	7,9	3,2	3,1	3,3		23,2	3,7	6,3	1,3	1,3		87	17,6	4	1.10
12612	150617	104211	1	6,7	12,5	5,9	6,1	6,3		37,5	3,9	5,9	1,3	1,2		83	17,1	4	5.73

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
12619	150617	104333	1	6,4	13,0	5,8	5,4	5,7		36,3	3,6	5,9	1,3	1,2		91	16,7	4	6.13
12622	150617	104419	1	6,1	11,8	6,1	8,0			32,0	5,6	8,3	1,3			90	20,9	5	4.94
12626	150617	104542	1	6,5	11,6	6,2	6,9	6,9		38,1	3,8	5,6	1,2	1,2		88	16,8	4	4.77
12633	150617	104646	1	4,9	5,8					10,7	5,2					89	9,6	3	0.37
12638	150617	104718	1	3,5	5,6	3,5	3,7	3,5		19,8	3,7	3,5	1,3	1,3		85	12,6	4	0.29
12649	150617	104851	1	6,5	11,4	6,6	6,2	6,5		37,2	3,8	5,1	1,3	1,2		84	15,9	4	4.47
12657	150617	105006	1	6,2	7,6	4,3	4,3	4,1		26,5	3,8	5,9	1,3	1,2		90	17,3	4	1.16
12663	150617	105032	1	6,8	11,8	6,8	7,3	7,4		40,1	3,8	5,9	1,2	1,2		88	16,9	4	5.30
12667	150617	105102	1	5,9	8,2	3,6	3,5	3,8		25,0	3,8	6,1	1,3	1,3		81	17,1	4	1.35
12669	150617	105121	1	6,2	10,9					17,1	4,8					81	8,1	3	3.30
12671	150617	105128	1	6,9	9,2					16,1	4,5					88	8,3	3	2.08
12675	150617	105155	1	6,6	11,6	7,2	7,3	6,7		39,4	3,8	5,9	1,3	1,3		89	17,0	4	4.99
12676	150617	105208	1	6,5	8,6	5,1	4,9	4,6		29,7	3,7	5,9	1,3	1,3		88	16,9	4	1.81
12677	150617	105226	1	7,1	11,1	8,0	7,5	8,0		41,7	3,8	5,6	1,3	1,3		89	17,2	4	5.10
12679	150617	105247	1	7,5	11,3	6,0	6,1	6,6		37,5	3,9	5,8	1,3	1,2		90	16,6	4	4.60
12685	150617	105350	1	5,7	7,1	3,2	3,5			19,5	4,1	7,3	1,3			91	16,3	5	0.83
12686	150617	105353	1	6,4	9,2	3,6	3,6	3,9		26,7	3,8	6,0	1,3	1,3		91	17,4	4	2.01
12690	150617	105408	1	6,3	9,4	3,6	3,4	3,3		26,0	3,9	6,0	1,3	1,2		89	16,9	4	2.10
12703	150617	105533	1	5,7	11,5	7,7	7,7			32,6	3,9	8,5	1,3			84	18,6	5	4.83
12717	150617	105732	1	6,0	10,9	5,7	6,1	5,7		34,4	3,8	6,2	1,3	1,2		89	17,3	4	3.67
12725	150617	105910	1	6,8	12,0	6,7	5,7	6,2		37,4	4,2	5,7	1,3	1,3		86	16,7	4	5.10
12735	150617	110026	1	5,7	8,6					14,3	6,0					101	11,7	5	1.45
12800	150617	110928	1	6,6	13,6	6,2	6,0	6,3		38,7	3,8	6,0	1,3	1,2		88	16,5	4	7.16
12803	150617	111018	1	6,2	8,3					14,5	5,1					87	9,4	3	1.40
12804	150617	111031	1	6,2	9,3	6,1	6,7	7,0		35,3	3,6	6,1	1,2	1,2		89	17,1	4	2.66
12811	150617	111121	1	5,6	7,4	3,8	3,6	3,7		24,1	3,8	5,7	1,2	1,3		89	16,1	4	0.92

No	Date	Time	Lne	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
12818	150617	111223	1	5,9	6,6	2,9	3,1	3,1		21,6	3,8	6,2	1,2	1,2		91	16,6	4	0.71
12823	150617	111252	1	5,9	6,8	3,3	3,4			19,4	3,8	7,1	1,3			89	16,4	5	0.77
12831	150617	111408	1	6,7	12,4	6,7	7,5	7,1		40,4	3,7	4,2	1,3	1,2		89	13,7	4	5.91
12834	150617	111428	1	6,4	8,1	4,9	5,1			24,5	3,8	7,4	1,3			92	16,6	5	1.53
12840	150617	111510	1	6,8	11,4	6,7	6,7			31,6	5,6	7,7	1,5			90	20,3	5	4.54
12846	150617	111605	1	1,1	2,1					3,2	3,8					83	6,2	2	0.00
12849	150617	111629	1	6,4	12,1	6,5	6,6	6,4		38,0	3,6	6,1	1,3	1,3		87	16,2	4	5.22
12877	150617	112129	1	5,9	9,3	4,5				19,7	7,2	1,3				99	13,3	5	0.95
12879	150617	112152	1	5,7	8,8	5,1	5,2	5,1		29,9	3,6	5,9	1,3	1,2		84	16,1	4	1.79
12887	150617	112241	1	6,2	12,5	6,6	7,2	7,5		40,0	3,9	3,0	1,2	1,2		89	11,8	4	5.91
12895	150617	112335	1	5,4	8,0	7,9	9,0	8,6		38,9	3,8	2,4	1,3	1,3		87	11,6	4	2.99
12903	150617	112542	1	6,6	9,6	6,0	6,0	6,2		34,4	3,5	5,7	1,2	1,2		85	16,2	4	2.76
12909	150617	112636	1	6,7	12,2	6,5	5,9	6,1		37,4	3,8	5,9	1,2	1,2		85	16,3	4	5.28
12914	150617	112700	1	6,3	10,4	8,4	8,7	9,0		42,8	3,7	2,8	1,2	1,2		86	12,2	4	5.00
12921	150617	112740	1	6,8	12,1	5,4	5,3	5,5		35,1	3,9	6,0	1,2	1,3		90	17,1	4	4.96
12926	150617	112806	1	7,0	10,3	6,9	7,2	7,0		38,4	3,9	5,5	1,3	1,3		86	17,0	4	3.87
12928	150617	112821	1	4,1	5,5					9,6	4,6					89	8,6	5	0.24
12938	150617	113053	1	5,7	7,5	4,0	3,9			21,1	3,9	7,3	1,3			90	17,5	5	0.98
12947	150617	113313	1	5,2	5,9	3,3	3,3	3,4		21,1	3,8	5,6	1,3	1,3		89	17,7	4	0.46
12951	150617	113334	1	6,4	6,2	2,6	2,8	2,6		20,6	3,8	6,0	1,2	1,2		91	17,3	4	0.71
12955	150617	113418	1	6,5	10,9	6,9	7,0	7,3		38,6	3,8	5,1	1,3	1,3		88	16,2	4	4.28
12960	150617	113436	1	6,7	11,9	6,4	6,2	6,5		37,7	3,8	6,3	1,2	1,2		86	17,3	4	5.02
12965	150617	113516	1	6,3	7,5					13,8	4,7					87	9,0	3	1.04
12974	150617	113653	1	6,3	8,7	4,2	5,1	4,7		29,0	4,0	5,9	1,3	1,3		89	17,1	4	1.79
12978	150617	113743	1	6,1	10,3	5,5	5,6	5,7		33,2	3,6	6,1	1,3	1,3		88	17,5	4	3.01
12985	150617	113821	1	6,1	8,9	3,5	3,4	3,7		25,6	3,9	5,9	1,3	1,2		83	16,9	4	1.75

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
12987	150617	113828	1	7,0	12,5	7,1	7,3	7,4		41,3	3,9	5,9	1,2	1,3		87	17,5	4	6.20
12993	150617	113905	1	6,7	11,6	8,0	8,0	7,1		41,4	3,6	5,6	1,3	1,3		88	15,5	4	5.42
12999	150617	113947	1	7,0	11,7	7,9	8,0	7,8		42,4	3,6	3,1	1,2	1,3		90	12,3	4	5.72
13006	150617	114041	1	6,7	10,6	5,3	5,4			28,0	5,7	7,7	1,3			91	19,6	5	3.38
13033	150617	114419	1	7,3	10,9	7,2	7,2			32,6	5,4	7,6	1,4			87	19,4	5	4.41
13050	150617	114705	1	7,0	9,7	5,2	4,8	5,0		31,7	3,8	5,6	1,2	1,3		86	16,3	4	2.65
13054	150617	114753	1	3,1	3,8					6,9	4,4					78	8,3	5	0.06
13060	150617	114851	1	6,6	10,7	6,9	7,0	7,1		38,3	3,9	5,7	1,3	1,3		89	17,1	4	4.09
13068	150617	115017	1	6,2	10,7	8,2	7,5	7,5		40,1	3,9	3,9	1,3	1,3		87	13,9	4	4.43
13075	150617	115054	1	6,8	9,2	5,6	5,5			27,1	6,1	7,5	1,5			91	20,0	5	2.32
13076	150617	115108	1	5,7	6,1	2,9	2,8			17,5	3,7	5,6	1,3			90	12,4	5	0.56
13078	150617	115146	1	5,6	5,7	2,9	3,4	2,9		20,5	3,8	5,7	1,3	1,2		88	16,3	4	0.46
13085	150617	115312	1	2,5	2,8					5,3	4,3					82	7,8	5	0.02
13089	150617	115350	1	6,5	13,1	6,1	6,1	6,6		38,4	3,6	5,3	1,3	1,2		89	15,1	4	6.49
13171	150617	120552	1	6,6	11,5	7,8	7,9	7,9		41,7	3,7	5,7	1,2	1,2		86	16,1	4	5.36
13182	150617	120718	1	6,5	10,8	5,5	5,6	6,1		34,5	4,0	5,8	1,3	1,2		90	17,3	4	3.65
13190	150617	120830	1	6,1	11,6	6,9	6,6	6,8		38,0	3,8	5,2	1,3	1,3		90	16,3	4	4.73
13193	150617	120859	1	5,8	9,2	5,3	5,5	5,3		31,1	4,2	6,0	1,3	1,3		87	17,4	4	2.11
13201	150617	121000	1	7,5	14,4	6,4	6,7	6,6		41,6	4,0	5,9	1,2	1,3		90	16,8	4	8.76
13205	150617	121024	1	5,7	11,0					16,7	6,5					86	11,3	5	3.30
13212	150617	121150	1	6,0	5,6	2,2	2,2	2,5		18,5	3,9	5,9	1,3	1,3		73	17,3	4	0.50
13217	150617	121234	1	5,6	7,0	3,4	3,2	3,5		22,7	3,5	5,8	1,2	1,2		88	16,7	4	0.77
13221	150617	121252	1	6,2	11,7	5,4	6,8	7,5		37,6	3,6	4,4	1,2	1,2		87	13,8	4	4.75
13222	150617	121306	1	6,1	8,6	3,7	2,4	2,7		23,5	3,8	6,0	1,3	1,3		89	17,3	4	1.56
13225	150617	121337	1	6,7	12,0	4,2	3,8	4,5		31,2	3,8	5,9	1,3	1,2		87	16,6	4	4.63
13237	150617	121524	1	5,7	8,2	4,8	4,6	4,6		27,9	3,6	5,9	1,3	1,3		90	16,7	4	1.40

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
13241	150617	121555	1	5,9	7,7	3,9	3,7	3,7		24,9	3,8	5,8	1,2	1,3		88	16,9	4	1.10
13251	150617	121710	1	7,1	8,7					15,8	4,5					89	9,8	3	1.84
13256	150617	121740	1	7,1	9,0					16,1	4,2					85	8,1	3	2.02
13259	150617	121754	1	6,6	11,5	6,6	6,5	6,9		38,1	3,8	5,1	1,2	1,2		83	15,4	4	4.70
13266	150617	121857	1	4,9	6,1					11,0	5,9					85	10,6	3	0.42
13269	150617	121920	1	7,3	9,6	6,3	6,1	5,9		35,2	3,9	5,6	1,3	1,3		88	16,9	4	2.97
13272	150617	122000	1	6,2	7,7	3,2	3,3	3,8		24,2	3,8	6,0	1,2	1,2		87	17,0	4	1.14
13273	150617	122014	1	6,4	10,3	7,4	6,8			30,9	3,7	8,5	1,3			89	18,6	5	3.59
13278	150617	122104	1	5,2	11,8	1,2	3,4	3,2	3,6	28,4	4,6	1,4	6,3	1,2	1,3	89	18,5	4	0.73
13283	150617	122202	1	5,5	7,8	4,7	2,6	3,9		24,5	3,9	5,9	1,3	1,3		90	16,1	4	1.06
13285	150617	122225	1	7,4	13,5	5,2	5,4	5,4		36,9	3,8	5,6	1,3	1,2		88	16,3	4	7.00
13297	150617	122506	1	6,3	11,0	6,7	7,7	7,5		39,2	3,6	6,0	1,2	1,2		77	16,1	4	4.45
13300	150617	122538	1	6,1	12,4	6,6	6,8	6,8		38,7	3,7	6,1	1,2	1,2		87	16,0	4	5.60
13305	150617	122601	1	5,9	7,3					13,2	6,1					79	10,0	3	0.89
13320	150617	122833	1	7,4	9,6	1,9	2,0			20,9	6,0	6,1	1,5			90	17,4	5	2.50
13322	150617	122852	1	6,6	12,5	3,6	4,3	3,3		30,3	3,8	5,9	1,3	1,3		83	17,5	4	5.14
13323	150617	122903	1	6,3	13,2	3,6	3,4	4,2		30,7	3,8	6,1	1,3	1,3		81	17,0	4	6.08
13328	150617	122941	1	6,5	12,2	6,9	7,4	7,5		40,5	3,7	5,6	1,3	1,3		90	15,3	4	5.72
13335	150617	123037	1	5,7	8,9	4,1	4,1	3,3		26,1	3,7	6,1	1,3	1,3		84	17,6	4	1.70
13375	150617	123554	1	6,4	8,4	3,7	4,2	4,2		26,9	3,9	5,7	1,2	1,3		89	16,7	4	1.58
13376	150617	123603	1	6,9	12,0	6,6	6,5	7,2		39,2	3,8	5,8	1,2	1,2		88	16,3	4	5.35
13386	150617	123735	1	6,6	11,7	7,6	7,4	7,3		40,6	3,8	6,1	1,2	1,3		91	17,1	4	5.29
13411	150617	124111	1	6,1	8,7	4,6	4,1			23,5	3,8	7,4	1,3			93	17,3	4	1.69
13426	150617	124438	1	5,8	9,4	8,5	8,3	8,3		40,3	3,9	3,1	1,3	1,3		88	12,4	4	3.79
13432	150617	124538	1	5,7	9,2	3,7	3,6	4,1		26,3	4,2	6,1	1,3	1,2		90	17,1	4	1.88
13433	150617	124550	1	5,6	7,2	3,7	3,4			19,9	5,6	7,0	1,3			93	17,9	4	0.83

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
13451	150617	124843	1	6,5	11,2	7,6	7,6	7,9		40,8	3,6	5,0	1,3	1,3		87	14,7	4	4.92
13456	150617	124917	1	6,2	8,4	4,1	4,7	4,0		27,4	4,0	6,0	1,2	1,3		85	17,3	4	1.56
13457	150617	124918	1	4,7	5,6					10,3	5,5					85	9,7	5	0.30
13458	150617	124926	1	5,9	7,0	4,0	3,8	3,9		24,6	3,9	5,8	1,2	1,3		91	17,2	4	0.87
13459	150617	124938	1	7,2	9,2	5,4	5,7			27,5	3,7	7,4	1,3			80	17,5	5	2.44
13460	150617	124941	1	7,6	12,7	6,4	6,6	7,4		40,7	3,6	5,9	1,3	1,3		78	16,6	4	6.54
13462	150617	124954	1	6,3	11,7	8,0	8,0	8,0		42,0	3,8	2,5	1,2	1,3		88	12,1	4	5.61
13468	150617	125049	1	6,6	12,3	6,2	6,5	6,9		38,5	3,6	5,7	1,2	1,2		82	16,5	4	5.51
13471	150617	125126	1	6,6	9,9	6,1	6,6	6,7		35,9	3,8	5,8	1,3	1,2		91	17,1	4	3.12
13472	150617	125203	1	6,9	14,2	7,1	6,9	6,9		42,0	3,6	6,1	1,3	1,3		84	17,2	4	8.44
13474	150617	125215	1	6,8	11,1	6,8	6,8	7,0		38,5	3,7	6,2	1,2	1,3		88	17,6	4	4.44
13481	150617	125250	1	5,7	8,2	3,5	3,7			21,1	3,8	7,4	1,3			86	17,3	5	1.29
13486	150617	125331	1	4,2	6,7					10,9	5,2					90	9,8	3	0.51
13487	150617	125339	1	7,0	13,1	7,6	7,9	8,2		43,8	4,1	5,5	1,3	1,2		89	15,7	4	7.49
13491	150617	125436	1	6,8	12,3	8,5	8,6	7,8		44,0	3,6	3,9	1,3	1,3		87	13,2	4	6.65
13492	150617	125437	1	7,6	4,0	4,0	3,7	3,4		22,7	3,9	5,9	1,2	1,3		83	17,3	4	0.84
13495	150617	125501	1	8,0	10,7	7,5	7,8	7,5		41,5	3,8	6,2	1,3	1,3		90	17,2	4	4.94
13497	150617	125528	1	4,5	5,8					10,3	4,2					89	8,9	3	0.33
13500	150617	125545	1	8,1	14,7	8,1	7,6	7,8		46,3	3,8	6,0	1,3	1,3		91	17,8	4	10.22
13518	150617	125805	1	4,7	4,7					9,4	5,4					87	9,1	3	0.20
13524	150617	125856	1	6,9	10,7	8,5	8,3	9,0		43,4	3,9	5,8	1,4	1,3		90	17,2	4	5.33
13526	150617	125930	1	5,8	12,4	6,7	5,6			30,5	5,4	8,5	1,2			89	20,3	5	5.21
13532	150617	130148	1	6,0	9,3	5,0	4,9	4,9		30,1	3,8	5,9	1,3	1,3		87	17,3	4	2.13
13542	150617	130425	1	6,1	10,4	6,3	6,7	7,5		37,0	3,8	5,8	1,3	1,2		88	16,9	4	3.63
13558	150617	130622	1	7,0	12,0	3,2	2,9	3,3		28,4	3,8	5,8	1,3	1,2		89	17,1	4	4.64
13561	150617	130651	1	6,7	10,7	8,0	7,9	8,0		41,3	4,2	5,7	1,3	1,4		82	14,5	4	4.71

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
13582	150617	130942	1	6,0	11,2	6,8	6,5	6,6		37,1	3,6	5,1	1,3	1,2		87	16,0	4	4.25
13584	150617	131005	1	5,9	11,7	7,6	7,6	7,4		40,2	3,8	5,4	1,2	1,2		89	15,3	4	5.20
13589	150617	131048	1	6,1	7,5	3,5	3,6	3,5		24,2	3,8	6,1	1,2	1,3		88	17,5	4	1.05
13595	150617	131154	1	7,0	13,3	6,9	5,4	5,6		38,2	3,8	7,1	1,3	1,3		88	16,9	4	6.77
13599	150617	131251	1	5,9	10,9	8,0	7,3	7,5		39,6	3,6	5,6	1,3	1,2		86	15,3	4	4.47
13601	150617	131328	1	5,3	7,9	3,3	3,9	3,4		23,8	3,6	6,2	1,3	1,3		91	17,6	4	1.06
13605	150617	131413	1	6,9	12,5	4,7	4,4	4,9		33,4	3,8	6,2	1,2	1,2		88	17,5	4	5.44
13608	150617	131434	1	5,9	9,0	4,1	3,8	4,1		26,9	3,9	6,0	1,3	1,3		88	17,7	4	1.81
13609	150617	131502	1	6,2	13,2	6,5	6,9	6,7		39,5	3,6	5,8	1,2	1,3		83	16,8	4	6.73
13619	150617	131644	1	0,9	1,1					2,0	4,0					96	7,2	1	0.00
13649	150617	132217	1	6,4	8,7	4,1	4,1	4,1		27,4	3,8	5,8	1,3	1,3		90	17,8	4	1.75
13651	150617	132239	1	6,2	8,1	3,2	3,6	3,4		24,5	3,9	6,1	1,3	1,3		90	18,1	4	1.35
13653	150617	132333	1	6,5	7,4	3,7	3,5	3,8		24,9	3,8	5,7	1,3	1,2		89	17,5	4	1.11
13656	150617	132403	1	5,7	8,5	3,9	3,8	3,8		25,7	4,1	6,0	1,3	1,2		91	17,5	4	1.47
13659	150617	132424	1	6,0	8,1	4,2	4,2	4,1		26,6	3,8	5,7	1,2	1,3		87	17,6	4	1.37
13663	150617	132438	1	7,2	12,2	7,1	7,1	7,3		40,9	3,8	5,8	1,2	1,3		89	17,2	4	5.86
13669	150617	132512	1	5,7	10,1	8,2	8,3	9,0		41,3	3,7	3,1	1,3	1,3		87	12,5	4	4.39
13671	150617	132529	1	6,4	10,6	6,3	7,2	6,4		36,9	4,0	3,7	1,2	1,3		92	13,6	4	3.78
13675	150617	132554	1	6,1	8,1	3,3	3,3	3,4		24,2	3,7	6,2	1,2	1,3		90	17,4	4	1.32
13679	150617	132633	1	2,6	3,6					6,2	4,1					91	8,3	3	0.04
13680	150617	132649	1	6,5	7,3	4,6	4,6	4,4		27,4	3,8	5,7	1,3	1,3		90	17,3	4	1.16
13685	150617	132751	1	6,0	6,0	2,7	1,8			16,5	3,9	6,7	1,3			91	15,7	5	0.58
13689	150617	132812	1	6,1	6,4	3,0				15,5	4,5	1,3				91	10,3	5	0.44
13698	150617	132957	1	5,9	5,2	4,9	2,2	2,0		20,2	3,7	6,5	1,3	1,3		87	16,1	4	0.44
13700	150617	133018	1	7,0	12,2	7,6	8,1	7,6		42,5	3,6	5,9	1,3	1,3		90	16,4	4	6.18
13713	150617	133236	1	7,2	11,9	8,2	7,3	6,2		40,8	3,9	5,8	1,3	1,3		88	16,5	4	5.58

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
13718	150617	133311	1	6,4	12,5	7,1	8,0	7,3		41,3	3,8	4,5	1,3	1,3		82	15,5	4	6.16
13720	150617	133344	1	6,3	12,1	7,0	7,2	7,2		39,8	3,7	4,4	1,3	1,3		82	15,2	4	5.49
13727	150617	133507	1	3,4	3,8	4,2	3,9	3,9		19,2	4,0	5,9	1,3	1,3		93	18,2	4	0.15
13740	150617	133632	1	7,2	8,3	5,3	4,7			25,5	3,9	7,2	1,3			91	17,3	5	1.84
13748	150617	133735	1	5,0	5,7	2,3	2,1			15,1	4,0	6,5	1,3			85	15,6	5	0.35
13755	150617	133831	1	6,8	12,2	6,7	7,0	6,6		39,3	3,9	5,9	1,3	1,3		90	17,3	4	5.55
13773	150617	134129	1	5,0	7,8	5,4	5,2			23,4	5,7	6,8	1,5			94	19,1	4	1.16
13774	150617	134139	1	4,8	9,6					14,4	4,5					90	9,0	3	1.95
13778	150617	134222	1	6,3	7,8	3,0	2,9	3,4		23,4	3,9	5,9	1,3	1,3		88	17,5	4	1.18
13781	150617	134248	1	7,0	12,5	8,0	7,8	8,0		43,3	3,9	6,0	1,3	1,3		90	17,4	4	6.74
13785	150617	134424	1	5,9	9,0	3,8	3,5	3,7		25,9	3,6	6,1	1,2	1,3		91	17,5	4	1.78
13811	150617	134725	1	7,0	9,3	5,6	5,4	5,7		33,0	3,9	5,7	1,3	1,2		88	16,7	4	2.51
13826	150617	135010	1	7,3	11,6	8,2	7,2	8,1		42,4	3,8	5,8	1,2	1,2		85	17,2	4	5.69
13828	150617	135029	1	6,5	11,3	5,2	5,3	5,3		33,6	3,8	5,9	1,3	1,2		89	17,7	4	4.01
13829	150617	135035	1	6,2	7,4	3,3	4,1	4,1		25,1	3,9	5,6	1,2	1,3		88	17,4	4	1.05
13831	150617	135052	1	6,2	8,6	5,2	5,3			25,3	3,8	7,0	1,3			90	17,3	4	1.77
13844	150617	135302	1	5,8	8,1	3,4	3,4	3,5		24,2	3,8	6,1	1,3	1,3		90	17,6	4	1.28
20247	150618	102430	1	6,3	10,9	6,8	7,3	7,1		38,4	3,6	5,9	1,2	1,2		73	16,5	4	4.23
20267	150618	102740	1	5,9	6,5	3,2				15,6	5,3	1,3				86	10,5	5	0.42
20270	150618	102817	1	5,2	10,9					16,1	5,9					91	11,3	5	3.12
20273	150618	102834	1	6,1	9,1	3,2	3,0	3,1		24,5	3,6	5,8	1,2	1,3		84	16,0	4	1.85
20280	150618	103006	1	5,6	5,5	2,3	2,8	3,0		19,2	3,8	5,8	1,2	1,2		82	15,8	4	0.41
20281	150618	103016	1	5,6	9,0	5,1	5,2	5,1		30,0	3,6	6,0	1,2	1,2		82	16,6	4	1.89
20282	150618	103027	1	6,4	12,4	7,0	7,4	7,8		41,0	3,6	5,3	1,3	1,2		87	14,0	4	6.00
20287	150618	103112	1	6,4	9,0	7,5	7,9	8,1		38,9	3,9	5,6	1,3	1,2		89	17,7	4	3.21
20289	150618	103126	1	6,0	12,5	6,0	6,8	7,4		38,7	4,1	6,6	1,3	1,4		93	18,6	4	5.82

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
20292	150618	103223	1	6,6	12,3	5,9	7,1	6,7		38,6	3,7	6,1	1,3	1,3		88	17,6	4	5.52
20299	150618	103259	1	5,9	6,6	3,5	3,1			19,1	4,0	7,7	1,3			93	17,6	5	0.72
20301	150618	103309	1	5,7	5,7	3,2	2,8			17,4	3,7	5,7	1,3			90	14,7	5	0.49
20319	150618	103437	1	5,8	5,8	3,4	3,5			18,5	3,8	7,4	1,3			91	17,5	5	0.54
20320	150618	103445	1	3,7	9,3					13,0	4,9					91	9,7	5	1.68
20327	150618	103616	1	6,7	11,2	6,5	6,2	6,9		37,5	3,7	5,8	1,3	1,2		88	17,0	4	4.37
20337	150618	103719	1	6,4	11,4	7,4	6,8	7,3		39,3	3,8	5,1	1,3	1,2		86	15,4	4	4.79
20338	150618	103733	1	6,1	8,5	3,6	3,5	2,8		24,5	3,8	5,6	1,2	1,3		86	16,7	4	1.52
20339	150618	103800	1	6,3	10,6	6,3	8,3			31,5	3,7	8,5	1,3			88	18,8	5	3.93
20353	150618	104021	1	6,1	6,5	2,8	3,3	2,9		21,6	3,7	5,8	1,3	1,2		88	16,0	4	0.72
20355	150618	104040	1	5,9	7,8	3,6	3,8	3,7		24,8	3,9	5,6	1,2	1,2		87	16,4	4	1.14
20356	150618	104053	1	5,9	14,0	6,0	5,7	6,0		37,6	3,8	6,0	1,3	1,3		87	16,4	4	7.48
20358	150618	104101	1	6,2	7,9	3,6	3,7			21,4	3,9	7,4	1,3			89	17,8	5	1.23
20361	150618	104135	1	5,7	7,8	6,4	6,3			26,2	3,9	7,4	1,3			91	17,8	4	1.52
20363	150618	104153	1	6,6	13,6	5,6	5,6	5,7		37,1	3,8	6,2	1,3	1,3		87	17,3	4	6.97
20366	150618	104234	1	6,7	11,8	8,1	9,6			36,2	4,0	8,6	1,3			90	20,0	5	6.19
20368	150618	104253	1	6,8	9,3					16,1	5,6					95	12,1	3	2.11
20370	150618	104301	1	6,1	6,1	3,2	2,9	2,9		21,2	3,8	6,1	1,3	1,3		83	17,9	4	0.64
20372	150618	104319	1	5,5	5,9	2,7	2,6	2,4		19,1	3,8	6,2	1,3	1,3		91	17,6	4	0.47
20373	150618	104336	1	6,4	12,3	6,4	6,7	7,2		39,0	3,7	5,8	1,3	1,3		92	17,3	4	5.56
20378	150618	104427	1	6,7	10,4	6,9	7,0	6,9		37,9	3,7	5,9	1,3	1,3		90	17,2	4	3.82
20382	150618	104453	1	6,0	8,2	4,1	3,9	4,4		26,6	4,0	6,2	1,3	1,3		91	17,7	4	1.41
20388	150618	104554	1	7,0	11,9	6,1	6,5	6,3		37,8	3,9	6,1	1,3	1,3		91	17,1	4	5.08
20395	150618	104656	1	6,1	8,3	3,3	3,4	3,3		24,4	3,8	5,5	1,2	1,3		90	17,0	4	1.42
20396	150618	104710	1	5,6	6,6	3,2	3,5			18,9	3,7	7,5	1,2			87	16,6	5	0.65
20399	150618	104735	1	6,0	10,3	6,4	6,0	5,9		34,6	3,6	5,7	1,2	1,2		84	16,0	4	3.16

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
20400	150618	104756	1	6,1	11,7	6,2	6,3	6,1		36,4	3,7	5,9	1,2	1,3		88	16,4	4	4.61
20405	150618	104838	1	7,5	14,0	6,3	6,1	6,4		40,3	3,7	5,9	1,3	1,3		87	16,6	4	8.04
20410	150618	104906	1	6,1	14,2	7,1	7,4	7,5		42,3	3,5	5,9	1,2	1,2		86	16,3	4	8.44
20412	150618	104950	1	6,1	11,8	6,8	7,2	7,8		39,7	3,6	5,1	1,2	1,2		89	14,4	4	5.19
20414	150618	105004	1	5,6	6,0	2,3	3,1			17,0	3,6	5,2	1,2			88	12,6	4	0.50
20416	150618	105029	1	6,3	12,3	6,5	6,7	7,0		38,8	3,6	6,0	1,2	1,2		83	16,4	4	5.52
20421	150618	105119	1	6,4	12,7	6,4	6,7	6,9		39,1	3,8	6,0	1,3	1,2		89	16,1	4	6.12
20430	150618	105246	1	5,9	7,3	4,1	3,9	3,9		25,1	3,8	5,6	1,2	1,2		87	15,6	4	0.97
20442	150618	105417	1	6,0	11,5	7,3	6,2	6,7		37,7	3,8	6,1	1,2	1,2		84	15,9	4	4.59
20448	150618	105449	1	7,0	9,9	4,9	5,9	6,0		33,7	3,8	6,0	1,2	1,2		83	16,8	4	2.94
20456	150618	105601	1	5,6	8,9	3,4	3,6	3,6		25,1	3,5	6,0	1,2	1,2		86	16,2	4	1.65
20458	150618	105617	1	6,7	9,5	5,3	5,7			27,2	3,5	6,9	1,2			85	15,1	5	2.49
20459	150618	105621	1	2,8	5,3					8,1	3,6					86	7,1	5	0.17
20463	150618	105631	1	5,9	9,2	5,7	5,8	5,7		32,3	3,8	5,8	1,2	1,2		87	16,5	4	2.24
20468	150618	105712	1	6,1	10,5	6,9	6,8	6,8		37,1	3,8	5,0	1,3	1,3		93	15,8	4	3.72
20472	150618	105748	1	6,3	11,6	6,9	7,1	7,5		39,4	3,9	6,2	1,3	1,3		91	17,8	4	4.97
20474	150618	105802	1	6,1	11,1	7,9	7,7	7,6		40,4	3,8	6,0	1,3	1,3		89	17,3	4	4.76
20476	150618	105810	1	5,7	6,9	3,7	3,9	3,6		23,8	3,8	6,5	1,3	1,3		93	18,2	4	0.80
20478	150618	105819	1	7,4	10,4	7,1	7,4	7,5		39,8	3,8	6,0	1,3	1,2		91	18,0	4	4.24
20480	150618	105825	1	6,3	9,1	4,6	4,3	4,4		28,7	4,0	6,2	1,3	1,3		93	18,1	4	1.99
20489	150618	105925	1	7,1	9,3	5,2	5,5	5,4		32,5	3,9	6,0	1,3	1,3		87	17,5	4	2.48
20494	150618	110021	1	5,8	13,1	6,6	7,1	7,5		40,1	3,8	6,1	1,3	1,3		79	17,4	4	6.69
20508	150618	110233	1	7,6	11,9	7,2	6,2	7,3		40,2	3,8	6,1	1,3	1,3		88	17,3	4	5.53
20521	150618	110455	1	5,8	9,3	4,3	4,2	4,4		28,0	3,9	6,2	1,3	1,3		90	17,5	4	2.01
20522	150618	110506	1	7,0	12,8	5,7	6,3	6,1		37,9	3,8	6,1	1,3	1,3		88	17,4	4	6.16
20523	150618	110512	1	3,2	3,7					6,9	3,4					87	6,9	3	0.06

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
20524	150618	110518	1	6,4	10,3	2,4	2,5	2,5		24,1	3,8	5,5	1,2	1,2		86	16,0	4	2.83
20541	150618	110725	1	6,4	10,4	6,6	7,4	7,3		38,1	3,9	4,5	1,2	1,2		85	14,6	4	3.83
20545	150618	110802	1	6,4	11,2	4,9	5,1	5,1		32,7	3,8	5,7	1,2	1,2		86	16,7	4	3.84
20546	150618	110809	1	6,0	12,2	6,7	7,0	7,2		39,1	3,8	5,6	1,2	1,2		89	15,6	4	5.46
20554	150618	110916	1	5,9	13,4	7,3	6,8	6,6		40,0	3,5	6,0	1,2	1,2		88	16,0	4	7.03
20558	150618	110947	1	7,1	12,1	7,5	7,4	7,2		41,3	3,7	6,0	1,2	1,3		88	16,5	4	5.83
20566	150618	111246	1	5,8	9,6	4,8	3,9	3,6		27,7	3,7	5,6	1,2	1,2		84	15,1	4	2.19
20569	150618	111318	1	7,3	14,1	7,3	7,4	7,6		43,7	3,6	5,8	1,2	1,2		87	16,3	4	8.66
20572	150618	111359	1	6,5	7,5	1,4	5,9	4,6		25,9	3,7	5,5	1,1	1,2		86	15,7	4	1.17
20575	150618	111425	1	5,9	5,7	3,2	3,6	3,1		21,5	3,6	5,7	1,3	1,3		86	16,1	4	0.54
20581	150618	111458	1	6,5	8,0					14,5	5,7					88	10,3	5	1.33
20585	150618	111528	1	6,9	13,7	5,9	5,9			32,4	3,6	7,4	1,3			84	16,6	5	7.22
20590	150618	111611	1	6,6	7,8	3,4	3,4	3,3		24,5	3,7	5,4	1,2	1,2		84	15,1	4	1.27
20595	150618	111637	1	7,4	13,9	5,7	6,7	6,5		40,2	3,8	6,0	1,3	1,2		89	16,9	4	7.86
20600	150618	111727	1	7,1	11,6	7,8	8,3	8,2		43,0	3,6	4,6	1,2	1,2		84	13,9	4	5.82
20602	150618	111744	1	6,7	12,6					19,3	6,2					88	9,9	5	5.34
20613	150618	111911	1	7,6	15,1	7,3	6,5	7,1		43,6	3,7	6,0	1,3	1,2		86	16,6	4	10.27
20623	150618	112122	1	6,9	12,6	6,6	7,1	6,5		39,7	3,9	6,2	1,3	1,3		93	18,3	4	6.15
20625	150618	112130	1	6,0	13,2	6,8	6,6	7,4		40,0	4,2	4,7	1,4	1,4		87	16,0	4	6.79
20639	150618	112405	1	7,6	10,8	8,8				27,2	5,0	1,3				87	10,8	5	3.51
20642	150618	112454	1	3,9	5,1					9,0	4,3					87	8,5	5	0.18
20648	150618	112610	1	6,9	13,0	7,5	7,0	7,0		41,4	3,8	5,9	1,3	1,3		90	17,1	4	6.86
20649	150618	112616	1	6,9	10,7	4,7	5,2	4,9		32,4	3,7	5,7	1,3	1,3		89	17,4	4	3.49
20651	150618	112636	1	6,3	6,4	5,1	5,1			22,9	4,0	7,9	1,4			91	17,3	5	0.91
20711	150618	113543	1	6,5	8,7	4,1	4,8	4,4		28,5	3,7	5,9	1,3	1,2		88	16,7	4	1.81
20714	150618	113600	1	6,9	10,6	7,6	8,2	7,8		41,1	3,8	5,8	1,3	1,2		90	16,8	4	4.61

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
20726	150618	113815	1	6,7	11,2	4,8	5,0	4,8		32,5	3,7	5,9	1,2	1,2		89	16,5	4	3.89
20732	150618	113915	1	6,8	9,7	3,7	3,4	3,7		27,3	3,5	5,9	1,2	1,2		87	16,2	4	2.44
20740	150618	114017	1	7,9	13,2	6,5	7,0	6,6		41,2	3,8	5,8	1,2	1,2		86	16,4	4	7.25
20744	150618	114038	1	7,2	10,2	8,7	8,3	8,3		42,7	3,9	3,1	1,3	1,3		86	13,0	4	4.77
20760	150618	114243	1	6,6	13,2	6,9	7,1	6,8		40,6	4,0	6,0	1,3	1,3		86	17,8	4	6.93
20766	150618	114338	1	6,2	12,0	4,8	4,7	4,7		32,4	3,7	6,3	1,3	1,2		91	17,9	4	4.58
20790	150618	114747	1	6,6	8,5	4,0	4,0	4,6		27,7	3,8	6,3	1,3	1,3		86	17,3	4	1.70
20791	150618	114802	1	6,0	7,4					13,4	5,3					89	9,0	3	0.95
20793	150618	114807	1	6,9	7,9					14,8	6,1					86	9,7	3	1.35
20794	150618	114811	1	7,4	9,6	5,7				22,7	4,7	1,3				87	8,9	3	1.69
20796	150618	114820	1	7,0	14,3	7,3	7,4	7,7		43,7	3,6	6,0	1,2	1,3		82	16,6	4	8.89
20803	150618	114926	1	6,0	11,5	5,7	5,8	6,0		35,0	3,7	5,9	1,2	1,2		82	16,5	4	4.25
20827	150618	115308	1	6,8	12,5	7,8	7,9	7,7		42,7	3,8	4,0	1,2	1,2		88	13,8	4	6.59
20829	150618	115314	1	6,2	10,6					16,8	3,6					81	6,6	3	3.03
20848	150618	115627	1	5,7	8,6	4,6	4,2	4,4		27,5	3,8	6,1	1,3	1,3		88	16,8	4	1.59
20856	150618	115749	1	5,8	11,2	5,5	5,3	5,7		33,5	3,7	6,1	1,2	1,3		87	17,0	4	3.82
20866	150618	115927	1	6,4	11,5	6,5	6,8	6,5		37,7	3,9	6,0	1,3	1,3		87	16,9	4	4.62
20867	150618	115933	1	6,2	10,6	6,0	6,3	6,2		35,3	3,6	6,0	1,3	1,3		83	17,5	4	3.56
20872	150618	120014	1	6,5	10,7	4,7	5,0	5,1		32,0	3,8	5,9	1,2	1,2		82	17,4	4	3.38
20880	150618	120131	1	5,5	5,6	3,3	2,9	3,0		20,3	4,0	6,0	1,3	1,2		90	16,4	4	0.42
20887	150618	120234	1	7,0	12,1	4,9	5,1	5,7		34,8	3,8	6,0	1,2	1,2		87	17,0	4	4.99
20896	150618	120336	1	7,0	11,6	7,9	7,7	7,8		42,0	3,7	5,9	1,2	1,3		87	16,8	4	5.53
20898	150618	120347	1	6,7	11,5	7,3	8,6			34,1	3,9	8,4	1,3			87	18,1	5	5.23
20908	150618	120521	1	6,3	11,5	7,3	7,0	7,3		39,4	3,7	5,6	1,2	1,2		86	16,0	4	4.88
20912	150618	120541	1	6,3	11,8	7,7	7,8	7,8		41,4	3,6	5,9	1,2	1,2		87	16,6	4	5.53
20922	150618	120645	1	6,3	9,7	5,0	4,6	4,3		29,9	3,8	6,0	1,3	1,3		88	16,2	4	2.41

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
20934	150618	120728	1	6,5	12,3	7,4	7,5	7,1		40,8	3,7	4,5	1,2	1,3		85	15,0	4	5.87
20937	150618	120751	1	6,7	8,1	3,6	3,2	3,6		25,2	3,8	5,6	1,2	1,2		86	16,8	4	1.47
20940	150618	120815	1	6,6	7,8	4,6	5,0	3,4		27,4	3,5	5,7	1,2	1,3		87	16,5	4	1.34
20948	150618	120906	1	7,3	13,5	7,5	6,8	7,3		42,4	3,5	5,9	1,2	1,2		85	16,3	4	7.67
20955	150618	121031	1	6,4	10,9	7,4	7,1	7,0		38,8	3,6	3,8	1,3	1,3		90	13,3	4	4.30
20969	150618	121238	1	4,1	9,5					13,6	6,0					95	11,2	5	1.83
20977	150618	121329	1	6,3	8,8	3,1	3,2	3,0		24,4	3,7	5,9	1,3	1,3		87	16,9	4	1.71
20980	150618	121358	1	7,0	8,8	4,5	4,5	4,4		29,2	3,7	5,6	1,2	1,2		89	16,8	4	2.00
20981	150618	121413	1	7,3	11,7	4,5	4,2	4,6		32,3	3,7	5,9	1,2	1,2		85	16,3	4	4.52
20985	150618	121442	1	6,6	12,2	7,2	8,2	6,9		41,1	3,6	5,6	1,2	1,3		88	15,5	4	5.86
20993	150618	121540	1	7,7	11,2	7,7	7,1			33,7	5,4	7,5	1,0			88	18,2	5	4.93
21017	150618	121903	1	6,1	11,9	8,0	7,9	8,0		41,9	3,9	3,0	1,3	1,2		80	12,4	4	5.76
21030	150618	122218	1	5,7	7,7					13,4	4,3					89	7,9	5	0.99
21031	150618	122228	1	6,2	9,1	4,8	4,3	4,6		29,0	3,8	7,6	1,3	1,2		85	17,1	4	1.99
21035	150618	122330	1	8,2	7,4	5,5				21,1	4,8	1,3				88	10,8	3	1.54
21040	150618	122415	1	6,7	11,4	6,6	7,2	6,8		38,7	3,8	5,9	1,2	1,3		89	17,0	4	4.71
21043	150618	122443	1	4,9	6,6					11,5	4,9					88	9,7	3	0.54
21048	150618	122508	1	6,9	14,4	7,6				28,9	4,7	1,4				88	9,3	5	4.65
21051	150618	122538	1	7,4	13,7	6,7	6,7	6,8		41,3	3,6	6,0	1,2	1,2		88	16,7	4	7.76
21053	150618	122557	1	6,2	8,6					14,8	6,3					90	11,6	3	1.56
21056	150618	122609	1	7,2	12,2	7,4	7,5	7,7		42,0	3,6	5,9	1,2	1,2		86	16,8	4	6.07
21060	150618	122623	1	6,4	12,0	7,2	7,0	6,9		39,5	3,9	5,9	1,3	1,3		89	16,7	4	5.35
21063	150618	122701	1	5,4	5,9	2,4	2,6			16,3	3,8	7,0	1,2			91	15,6	5	0.45
21066	150618	122718	1	6,4	9,5	7,0	7,7	7,8		38,4	3,8	5,5	1,3	1,4		89	14,1	4	3.29
21070	150618	122747	1	6,8	11,8	7,8	7,9	8,0		42,3	3,7	5,7	1,3	1,3		89	16,7	4	5.77
21071	150618	122825	1	5,3	6,0					11,3	4,6					84	7,4	3	0.45

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
21076	150618	122858	1	6,6	7,0	3,3	3,5	3,3		23,7	3,7	6,1	1,3	1,3		92	16,3	4	0.99
21089	150618	123108	1	6,6	11,6	5,1	5,0	5,8		34,1	3,8	6,0	1,3	1,2		88	16,6	4	4.35
21090	150618	123123	1	6,8	11,7	8,7	9,0	9,0		45,2	3,7	5,7	1,3	1,3		86	13,5	4	6.55
21096	150618	123216	1	5,7	5,5	2,7	2,5			16,4	3,7	6,0	1,2			86	14,2	4	0.42
21100	150618	123311	1	5,4	6,3	2,8	2,4			16,9	3,5	6,1	1,2			84	14,2	4	0.53
21104	150618	123344	1	3,8	4,8					8,6	5,3					86	9,1	3	0.15
21119	150618	123512	1	7,9	15,2	6,7	7,2	6,5		43,5	3,7	5,7	1,2	1,2		84	16,1	4	10.48
21124	150618	123551	1	6,6	9,3	5,9	5,7			27,5	5,9	7,3	1,4			86	19,2	5	2.39
21125	150618	123607	1	6,3	8,9					15,2	5,4					84	10,3	3	1.74
21128	150618	123620	1	7,0	12,5					19,5	6,2					84	10,9	5	5.31
21135	150618	123731	1	6,6	8,3	3,7	4,0	3,9		26,5	3,8	5,7	1,2	1,2		87	16,6	4	1.57
21139	150618	123801	1	6,7	8,2	5,6	5,7	5,7		31,9	3,7	5,5	1,2	1,2		85	15,9	4	1.82
21143	150618	123836	1	7,5	12,0	9,0	8,5	8,9		45,9	3,8	3,7	1,3	1,3		89	13,7	4	7.00
21154	150618	123940	1	8,0	8,9	5,7	5,7			28,3	3,8	7,4	1,2			86	17,3	4	2.61
21161	150618	124054	1	6,2	9,8	4,1	3,6	3,9		27,6	4,9	7,0	1,2	1,3		88	19,4	4	2.38
21165	150618	124118	1	7,0	12,2	8,1	8,1	8,0		43,4	3,8	5,7	1,3	1,3		88	17,0	4	6.44
21171	150618	124158	1	7,1	13,3	6,4	6,6	6,9		40,3	3,6	6,1	1,2	1,2		86	16,4	4	7.07
21191	150618	124437	1	6,7	3,4	12,3	5,7	4,3	4,2	36,6	4,2	1,2	7,9	1,1	1,3	92	19,1	4	1.79
21193	150618	124505	1	5,9	8,1	3,1	3,4	3,4		23,9	3,9	6,0	1,3	1,3		78	16,8	4	1.29
21209	150618	124809	1	6,4	7,4	4,0	4,2	4,0		26,0	3,7	6,0	1,3	1,2		88	17,0	4	1.12
21215	150618	124849	1	6,2	8,2	3,7	2,9	3,5		24,5	3,7	5,9	1,3	1,2		87	16,7	4	1.40
21230	150618	125056	1	6,8	11,6	8,1	8,1	8,5		43,1	3,7	3,1	1,2	1,2		84	12,1	4	5.86
21234	150618	125113	1	5,2	8,8					14,0	5,7					91	11,0	5	1.49
21243	150618	125308	1	5,9	7,7	4,2	3,5			21,3	5,5	6,7	1,3			86	17,1	4	1.10
21251	150618	125413	1	6,3	6,2	5,6	5,4	5,5		29,0	3,8	7,6	1,1	1,1		89	16,1	4	0.99
21262	150618	125536	1	6,1	5,1	3,0	2,3	2,9		19,4	3,9	5,6	1,2	1,2		86	15,7	4	0.46

No	Date	Time	Ln	AW1	AW2	AW3	AW4	AW5	AW6	GVM	AD1	AD2	AD3	AD4	AD5	SPD	LENG	CL	ESAL
21264	150618	125603	1	6,1	8,2	3,6	3,9	4,2		26,0	3,7	5,8	1,2	1,2		83	16,7	4	1.41
21272	150618	125711	1	6,2	8,2	3,4	2,9	3,3		24,0	3,9	6,2	1,3	1,3		92	18,0	4	1.39
21300	150618	130153	1	8,0	13,4	8,6	8,8	8,5		47,3	4,0	4,8	1,3	1,3		89	15,3	4	8.89
21391	150618	131758	1	6,0	9,0	3,5	3,7	3,7		25,9	3,8	6,2	1,3	1,3		90	17,1	4	1.80

2. Datos tomados visualmente por operarios o recibidos de la Dirección General de Tráfico

Leyenda

- No: número de secuencia
- Date: Fecha de paso
- Time : hora-minuto-segundo de paso
- Lne: Carril
- CATEG VEH: Categoría de vehículo (P: Camión pesado; B: Autobús)
- CLASE VEH: Clase de vehículo (1: Vehículo rígido; 2: Vehículo articulado; 3 Tren de carretera)
- TIPO VEH: Tipo de vehículo (12: Camión rígido de 2 ejes; 14: Camión rígido de 3 ejes, con los dos últimos formando tándem de ruedas gemelas; 17: camión rígido de 3 ejes con los dos últimos formando tándem asimétrico; 124: articulado de 4 ejes con cabeza tractora de 2 ejes y los 2 últimos formando un tándem en la parte trasera del semirremolque; 125: articulado de 5 ejes con cabeza tractora de 2 ejes y los 3 últimos formando un eje trídem en la parte trasera del semirremolque)
- EJES ELEVADOS: nº de orden que ocupa en el vehículo el eje que va elevado (si hay alguno que vaya elevado). Por ejemplo, un 3 significa que es el tercer eje el que va elevado.
- TARA TRACTOR, TARA REMOLQUE: Peso en vacío (tara) del camión o cabeza tractora, y del remolque o semirremolque
- PMA TRACTOR, PMA REMOLQUE: Peso máximo admitido del camión o de la cabeza tractora, y del conjunto del (tractor+ semirremolque o remolque)

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
519	150615	165217	1 P		2	125		8546	18000	6920	36000
524	150615	165259	1 P		2	125		6830	18000	6874	35000
529	150615	165412	1 P		2	125		8232	20000	7300	35000
533	150615	165427	1 P		2	125	3	7685	18000	7500	35000
540	150615	165509	1 P		2	125		6838	18000	7900	36000
541	150615	165520	1 P		2	125		7120	18000	8635	36000
549	150615	165606	1 P		2	125		7120	18000	7287	35000
558	150615	165701	1 P		2	125		7973	18600	820	960
564	150615	165742	1 P		1	12		3170	3500		
577	150615	165924	1 P		2	125		7530	18000	7495	35000
590	150615	170145	1 P		2	125		7602	18000	7400	35000
596	150615	170237	1 P		2	125		7589	18000	8900	35000
611	150615	170351	1 P		2	125	3	7115	18000	6300	35000
634	150615	170647	1 P		2	125		7001	18000	5400	34000
635	150615	170714	1 P		2	125		7488	18000	5360	35000
655	150615	171045	1 P		1	12		6930	18000		
657	150615	171052	1 P		2	125	3	8211	18000	7400	35000
674	150615	171334	1 P		2	125		8397	18000	7500	35000
677	150615	171401	1 P		2	125		7281	18000	5360	35000
682	150615	171429	1 P		2	125	3	7685	18000	8700	35000
683	150615	171436	1 P		2	125		6810	18000	8697	35000
695	150615	171611	1 P		2	125		8415	18000	8200	36000
696	150615	171614	1 P		2	125		7045	18000	8712	36000
697	150615	171627	1 P		2	125		7300	18000	5250	34000
699	150615	171638	1 P		2	125		7600	18000	6880	35000
700	150615	171640	1 P		2	125		8081	18000	5242	35000
5184	150616	100731	1 P		1	12		7100	10600		

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5187	150616	100801	1	P	2	125		8458	18000	8820	36000
5193	150616	100858	1	P	2	125		8593	18000	8633	35000
5208	150616	101053	1	P	2	125		8000	18000	7200	35000
5215	150616	101220	1	P	2	125		8230	18000	8900	35000
5217	150616	101251	1	P	2	125		7120	18000	9100	36000
5218	150616	101259	1	P	2	125		6800	18000	7100	34000
5219	150616	101304	1	P	2	125		7730	18000	6430	35000
5220	150616	101312	1	P	2	125		8546	18000	7000	35000
5221	150616	101331	1	P	2	125		7235	18000	7280	35000
5229	150616	101438	1	P	3	124		1290	1840	7200	16480
5233	150616	101504	1	P	2	125		6810	18000	8500	36000
5246	150616	101731	1	P	2	125		7289	18000	6405	34000
5247	150616	101734	1	P	2	125		7420	18000	7390	35000
5251	150616	101800	1	P	1	12		1312	1840		
5252	150616	101819	1	P	2	125		8297	18000	6220	35000
5260	150616	101932	1	P	2	125		7482	18000	7955	35000
5264	150616	102008	1	P	2	125		6120	18000	8000	35000
5268	150616	102027	1	P	2	125		7134	20000	5110	34000
5270	150616	102041	1	P	2	125		8000	18000	8000	35000
5271	150616	102054	1	P	2	125		6965	18000	6883	35000
5282	150616	102220	1	P	2	125		7900	18000	6000	34000
5290	150616	102306	1	P	2	125		7450	18000	8900	35000
5291	150616	102309	1	P	2	125		8700	18000	10150	36000
5293	150616	102325	1	P	1	17		11645	26000		
5302	150616	102448	1	P	2	125		7720	18000	7500	35000
5303	150616	102502	1	P	2	125		7454	18000	6820	35000
5311	150616	102601	1	P	2	125		8263	18000	6980	39000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5312	150616	102617	1	P	2	125		8000	18000	8500	36000
5313	150616	102641	1	P	2	125		7480	18000	8050	35000
5320	150616	102710	1	P	2	125		8550	18000	0	0
5321	150616	102716	1	P	2	125		8700	18000	8640	35000
5324	150616	102729	1	P	2	125		6545	18000	8350	34000
5325	150616	102757	1	P	2	125		8087	18000	7400	35000
5331	150616	102951	1	P	2	125		6620	18000	6320	34000
5337	150616	103038	1	P	2	125		7612	18000	7257	35000
5341	150616	103106	1	P	1	17		11585	26000		
5343	150616	103132	1	P	2	125		8121	18000	7000	35000
5350	150616	103224	1	P	2	125		7794	18000	7000	34000
5351	150616	103256	1	P	2	125		8591	18000	8400	36000
5355	150616	103317	1	P	2	125		7120	18000	10130	39000
5362	150616	103424	1	P	2	125		7913	18000	8945	36000
5364	150616	103438	1	P	2	125		8068	18000	6070	35000
5365	150616	103451	1	P	2	125		8025	18000	6150	34000
5366	150616	103515	1	P	2	125		8371	18000	7500	35000
5369	150616	103544	1	P	2	125		8650	18000	8900	36000
5379	150616	103703	1	P	2	125		8000	18000	9000	36000
5381	150616	103713	1	P	2	125		7310	18000	7200	35000
5390	150616	103815	1	P	2	125		7120	18000	6080	34000
5395	150616	103843	1	P	1	12		7260	14500		
5401	150616	103922	1	P	2	125		8000	18000	5900	36000
5402	150616	103935	1	P	2	125	3	8392	18000	7500	35000
5412	150616	104040	1	P	1	12		3440	6940		
5415	150616	104101	1	P	2	125		8395	18000	6900	35000
5423	150616	104139	1	P	2	125		8040	18000	8785	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5425	150616	104152	1	P	2	125		8682	18000	7280	35000
5429	150616	104226	1	P	2	125		6120	18000	7600	35000
5433	150616	104252	1	P	2	125	3	6810	18000	6350	35000
5437	150616	104314	1	P	2	125		8009	18000	7600	34000
5438	150616	104330	1	P	2	125		6830	18000	7780	35000
5444	150616	104422	1	P	1	37		12805	32000		
5450	150616	104510	1	P	2	125		7685	18000	8900	35000
5452	150616	104520	1	P	2	125		8180	18000	6500	36000
5457	150616	104613	1	P	2	125		8268	18000	6860	42000
5459	150616	104630	1	P	2	125		8469	18000	8900	36000
5470	150616	104755	1	P	2	125		7600	18000	5360	35000
5471	150616	104810	1	P	2	125		7598	18000	5110	34000
5472	150616	104817	1	P	2	125		7120	18000	5560	35000
5474	150616	104850	1	P	1	12		8000	18000		
5475	150616	104901	1	P	2	125		7630	18000	5780	34000
5481	150616	105009	1	P	2	146		8980	26000	10340	36000
5486	150616	105029	1	P	2	125		8117	18000	7280	35000
5493	150616	105121	1	P	2	125		6810	18000	6677	35000
5496	150616	105136	1	P	2	125		7600	18000	5933	35000
5498	150616	105143	1	P	2	125		8050	18000	7000	35000
5508	150616	105252	1	P	2	125		8700	18000	7120	36000
5511	150616	105318	1	P	1	12		7130	10600		
5524	150616	105534	1	P	2	125		6545	18000	8200	36000
5529	150616	105617	1	P	1	12		10270	13750		
5531	150616	105626	1	P	1	12		8260	18000		
5538	150616	105710	1	P	2	125		8505	18000	7020	35000
5540	150616	105804	1	P	2	125		7320	18000	0	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5544	150616	105820	1 P		2	125		7859	18000	6165	34000
5547	150616	105845	1 P		2	125		8557	18000	8695	42000
5552	150616	105956	1 P		2	125		6830	18000	7200	35000
5554	150616	110024	1 P		2	125	3	7724	18000	7600	35000
5556	150616	110039	1 P		2	125		6545	18000	6826	35000
5562	150616	110212	1 P		1	12		8280	18000		
5570	150616	110331	1 P		2	125		7685	18000	7080	35000
5577	150616	110423	1 P		1	12		10070	19000		
5581	150616	110450	1 P		2	125		8690	18000	7000	35000
5583	150616	110504	1 P		2	125		6965	18000	6610	35000
5591	150616	110552	1 P		2	125		8044	18000	7310	36000
5601	150616	110739	1 P		2	125		7750	18000	7120	35000
5614	150616	110908	1 P		2	125		6545	18000	7750	39000
5624	150616	111023	1 P		2	125		6810	18000	8100	35000
5629	150616	111050	1 P		2	125		7839	18000	7200	35000
5631	150616	111105	1 P		2	125		6995	18000	7200	36000
5636	150616	111215	1 P		2	125		8371	18000	7080	35000
5640	150616	111312	1 P		1	12		7315	18000		
5641	150616	111320	1 P		2	125		6830	18000	5340	35000
5649	150616	111431	1 P		2	125		7685	18000	6880	35000
5653	150616	111457	1 P		2	125		6810	18000	7900	36000
5654	150616	111507	1 P		2	125		6830	18000	7500	35000
5655	150616	111514	1 P		2	125		8227	18000	6883	35000
5660	150616	111602	1 P		1	12		6840	10500		
5665	150616	111643	1 P		2	125		7040	18000	6830	35000
5678	150616	111846	1 P		2	125		7300	18000	7110	36000
5690	150616	112050	1 P		3	174	3	12920	26000	5000	18000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5695	150616	112135	1	P		2	125	6965	18000	6000	35000
5705	150616	112321	1	P		2	125	8196	18000	7480	36000
5712	150616	112444	1	P		2	125	8100	18000	8200	36000
5716	150616	112523	1	P		2	125	8550	18000	8500	36500
5724	150616	112618	1	P		1	12	7500	14000		
5731	150616	112725	1	P		2	125	8496	9429	8390	35000
5737	150616	112803	1	P		2	125	8224	18000	6400	35000
5738	150616	112820	1	P		1	12	7043	18000		
5742	150616	112840	1	P		2	124	8362	25200	5700	29000
5746	150616	112915	1	P		2	125	8000	18000	7500	35000
5751	150616	113025	1	P		2	125	7600	18000	5480	35000
5753	150616	113037	1	P		2	125	7075	18000	7200	35000
5759	150616	113136	1	P		2	125	7968	18000	8300	36000
5765	150616	113229	1	P		2	125	8000	18000	9725	35000
5766	150616	113233	1	P		2	125	8000	18000	8400	36000
5770	150616	113333	1	P		2	125	8506	18000	8670	42000
5772	150616	113347	1	P		2	125	7685	18000	7280	35000
5783	150616	113540	1	P		2	125	7510	18000	7400	36000
5785	150616	113608	1	P		3	124	11840	18000	7600	17000
5786	150616	113618	1	P		2	125	6830	20500	6980	35000
5789	150616	113629	1	P		2	125	7820	18000	8500	36000
5791	150616	113643	1	P		1	12	8520	11990		
5797	150616	113718	1	P		2	125	8000	18000	9000	34000
5800	150616	113742	1	P		2	125	7918	18000	6820	35000
5803	150616	113813	1	P		3	124	10805	18000	7600	18000
5805	150616	113823	1	P		2	125	8081	18000	7200	35000
5822	150616	114117	1	P		2	125	6830	18000	8600	36000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
5825	150616	114148	1	P	2	125		8279	18000	7200	35000
5826	150616	114203	1	P	2	125		8014	18000	6950	35000
5828	150616	114209	1	P	2	125		7400	40000	7200	34000
5830	150616	114225	1	P	2	125	3	6622	18000	6150	34000
5834	150616	114256	1	P	2	125		7685	18000	16000	35000
5840	150616	114330	1	P	1	12		5960	11990		
5851	150616	114658	1	P	2	125		10755	18000	6390	36000
5859	150616	114736	1	P	2	125		6830	18000	6520	35000
5864	150616	114805	1	P	2	125		8010	18000	6825	36000
5869	150616	114844	1	P	2	125		7275	18000	8700	36000
5874	150616	114913	1	P	2	125	3	8982	18000	6600	34000
5880	150616	114957	1	P	2	125		8095	18000	7400	35000
5883	150616	115015	1	P	2	125		6800	18000	8800	36000
5895	150616	115201	1	P	2	125		8135	18000	5800	36000
5899	150616	115232	1	P	2	125	3	7800	18000	11080	32600
5915	150616	115535	1	P	2	125		7036	18000	7700	37000
5937	150616	115934	1	P	2	125		7970	18000	8900	35000
5977	150616	120533	1	P	2	125		7598	18000	6150	35000
5988	150616	120703	1	P	2	125		6810	18000	6200	34000
6000	150616	120846	1	P	2	125		7300	18000	4800	34000
6003	150616	120919	1	P	2	125		7300	19000	8100	35000
6006	150616	120933	1	P	2	125		6810	18000	6500	36000
6007	150616	121037	1	P	2	125		8400	18000	8900	35000
6011	150616	121134	1	P	2	125		8135	18000	7200	35000
6013	150616	121143	1	P	2	125		6810	18000	7400	36000
6015	150616	121154	1	P	2	125	3	8000	18000	9200	36000
6036	150616	121437	1	P	2	125		7685	18000	10270	39000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
6049	150616	121753	1	P	2	125		7800	18000	8400	34000
6054	150616	121830	1	P	2	125		7800	18000	8500	36000
6058	150616	121930	1	P	2	125		6300	18000	6220	39000
6059	150616	121942	1	P	2	125		6622	18000	3120	22000
6061	150616	122024	1	P	2	125		6830	18000	5110	34000
6070	150616	122148	1	P	2	125		8050	18000	8800	35000
6072	150616	122205	1	P	2	125		7120	19000	5600	35000
6078	150616	122314	1	P	1	12		3425	5600		
6081	150616	122407	1	P	2	125		8000	18000	6500	41000
6084	150616	122435	1	P	2	125		7120	18000	5500	34000
6088	150616	122446	1	P	2	125	3	6810	18000	5490	36000
6091	150616	122459	1	P	2	125		8230	18000	10000	34000
6093	150616	122522	1	P	2	125		8000	18000	8500	34000
6095	150616	122533	1	P	2	125		8000	18000	8200	36000
6105	150616	122648	1	P	1	12		7160	13500		
6107	150616	122708	1	P	2	125		8344	18000	8200	36000
6109	150616	122719	1	P	2	125		6830	18000	6350	35000
6113	150616	122741	1	P	2	125		7839	18000	8811	36000
6167	150616	123656	1	P	2	125		8575	18000	9286	35000
6169	150616	123708	1	P	2	125		7490	18000	7400	35000
6176	150616	123810	1	P	2	125		6700	18000	5760	34000
6177	150616	123820	1	P	2	125		8418	18000	7812	35000
6181	150616	123837	1	P	2	125		7872	18000	5290	35000
6192	150616	124102	1	P	2	125		7120	18000	8488	42000
6201	150616	124306	1	P	2	126		8081	18000	10300	35000
6206	150616	124405	1	P	2	125		7878	18000	7990	35000
6212	150616	124447	1	P	2	125		7685	18000	7500	36000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE	
6215	150616	124511	1	P		2	125	7120	18000	8135	35000	
6221	150616	124549	1	P		2	125	8615	18000	7410	35000	
6239	150616	124845	1	P		2	125	7120	18000	7270	36000	
6240	150616	124900	1	P		2	125	7400	18000	6760	35000	
6242	150616	124912	1	P		2	125	7380	18000	6860	35000	
6243	150616	124927	1	P		2	125	8546	18000	7500	35000	
6245	150616	124941	1	P		2	125	6120	18000	9000	34000	
6255	150616	125147	1	P		2	125	7275	18000	0	34000	
6256	150616	125200	1	P		2	125	7120	18000	8500	39000	
6261	150616	125255	1	P		2	125	7685	18000	6950	35000	
6268	150616	125435	1	P		2	125	7600	18000	7200	36000	
6272	150616	125501	1	P		1	12	6500	12000			
6273	150616	125513	1	P		1	12	9700	18000			
6278	150616	125545	1	P		2	125	7270	18000	6900	35000	
6280	150616	125642	1	P		2	125	8700	18000	8500	36000	
6281	150616	125715	1	P		2	125	7430	18000	8900	35000	
6284	150616	125741	1	P		2	125	7839	18000	6530	34000	
6288	150616	125756	1	P		2	126	6960	18000	10775	34000	
6294	150616	125851	1	P		2	125	6545	18000	9066	35000	
6339	150616	130650	1	P		3	123	7760	18000	3125	15000	
6343	150616	130730	1	P		2	125	6545	18000	8900	36000	
6349	150616	130823	1	P		2	125	6399	18000	9340	34000	
6367	150616	131303	1	P		2	125	10990	18000	5600	35000	
6370	150616	131510	1	P		2	125	7120	18000	8300	35000	
6387	150616	131713	1	P		2	125	7895	18000	8398	35000	
6388	150616	131727	1	P		1	12	4700	7500			
6401	150616	131940	1	P		2	125	3	8000	18000	6790	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
6406	150616	132049	1 P		2	125		6924	18000	5400	34000
6424	150616	132328	1 P		2	125		6830	18000	6060	34000
6429	150616	132406	1 P		3	124		9030	18000	4830	18000
6435	150616	132434	1 P		2	125		7685	18000	8500	36000
6436	150616	132436	1 P		2	125		8000	18000	6770	35000
6450	150616	132638	1 P		2	125		7240	18000	7360	35000
6451	150616	132702	1 P		2	125		8494	18000	7260	35000
6452	150616	132722	1 P		1	12		2860	3500		
6458	150616	132824	1 P		1	17	3	12070	26000		
6482	150616	133418	1 P		2	125		7898	18000	7550	36000
6486	150616	133451	1 P		2	125		6100	18000	5490	35000
6493	150616	133613	1 P		2	125		6810	18000	8200	35000
6494	150616	133623	1 P		2	125		7430	18000	5900	36000
6496	150616	133657	1 P		2	125		7120	18000	6500	35000
6498	150616	133712	1 P		2	125		8288	18000	8304	35000
6499	150616	133722	1 P		2	125		7036	18000	6790	36000
6503	150616	133808	1 P		2	125		7560	18000	8682	35000
6507	150616	133905	1 P		2	125		7500	18000	6890	35000
6509	150616	133937	1 P		2	125		7120	18000	7660	35000
6511	150616	133952	1 P		2	126		7831	18000	5950	34000
6514	150616	134049	1 P		2	125		6800	18000	8200	36000
6515	150616	134101	1 P		2	125		8135	18000	7280	35000
6530	150616	134245	1 P		1	14	3	14055	26000		
6542	150616	134358	1 P		2	125		6830	18000	6325	39000
6547	150616	134456	1 P		2	125		6810	18000	6700	35000
6551	150616	134523	1 P		2	125		8358	18000	9000	36000
6559	150616	134618	1 P		2	125		8071	18000	7200	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
6564	150616	134658	1	P	2	125		6885	18000	6500	38000
6567	150616	134730	1	P	3	123		7760	18000	3020	18000
6574	150616	134848	1	B	1	12		13768	18000		
6576	150616	134902	1	P	2	125	3	7120	18000	4800	34000
6584	150616	135025	1	P	2	125		7300	18000	7900	35000
12397	150617	100610	1	P	2	125		740	18000	8500	36000
12452	150617	101456	1	P	2	125		8000	18000	7042	35000
12454	150617	101528	1	P	2	125		8205	18000	7600	34000
12471	150617	102032	1	P	1	12		5400	8600		
12473	150617	102048	1	P	2	125		8484	18000	8500	36000
12474	150617	102106	1	P	2	125		6120	18000	7200	36000
12481	150617	102150	1	P	2	125		6810	18000	7320	36000
12484	150617	102228	1	P	2	125		6100	18000	5000	35000
12490	150617	102331	1	P	2	125		6840	18000	5300	36000
12495	150617	102411	1	P	2	125		8286	18000	8452	35000
12504	150617	102530	1	P	2	125		0	0	0	0
12507	150617	102607	1	P	2	125		8344	18000	8200	32000
12515	150617	102728	1	P	2	125		8090	18000	8918	36000
12517	150617	102810	1	P	2	125		7454	18000	6820	35000
12525	150617	102942	1	P	2	125		7300	18000	8800	35000
12527	150617	103005	1	P	2	125		8459	18000	5150	35000
12532	150617	103032	1	P	2	125		8546	18000	7650	35000
12533	150617	103045	1	P	3	124		12025	18000	8920	18000
12537	150617	103115	1	P	2	125		7685	18000	7000	35000
12539	150617	103128	1	P	2	125		7120	18000	6240	36000
12540	150617	103140	1	P	2	125		7800	18000	8800	36000
12548	150617	103220	1	P	2	125		8459	18000	6810	39000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
12559	150617	103455	1	P		3	124	11380	18000	6680	16480
12560	150617	103509	1	P		2	125	8088	18000	8400	40000
12562	150617	103520	1	P		2	125	6810	18000	8900	36000
12569	150617	103619	1	P		2	125	7583	18000	6280	39000
12570	150617	103627	1	P		2	125	8409	18000	6740	35000
12571	150617	103634	1	P		2	125	7800	18000	8000	35000
12579	150617	103747	1	P		2	125	7750	18000	7680	35000
12582	150617	103800	1	P		2	125	7370	18000	6030	34000
12594	150617	103903	1	P		2	125	7385	18000	8900	35000
12599	150617	104007	1	P		2	125	6810	18000	5475	35000
12602	150617	104025	1	P		2	125	8315	18000	7500	35000
12604	150617	104105	1	P		2	125	6810	18000	6950	35000
12609	150617	104146	1	P		2	125	6995	18000	7200	36000
12612	150617	104211	1	P		2	125	8296	18000	7925	35000
12619	150617	104333	1	P		2	125	7120	18000	7500	36000
12622	150617	104419	1	P		3	124	12120	18000	7500	17480
12626	150617	104542	1	P		2	125	6830	18000	9100	36000
12633	150617	104646	1	P		1	12	9520	13000		
12638	150617	104718	1	P		2	125	6800	18000	8750	36000
12649	150617	104851	1	P		2	125	8225	18000	6730	35000
12657	150617	105006	1	P		2	125	8000	18000	6883	35000
12663	150617	105032	1	P		2	125	6622	18000	7540	35000
12667	150617	105102	1	P		2	125	6120	18200	8500	36000
12669	150617	105121	1	P		1	12	9460	18000		
12671	150617	105128	1	P		1	12	7950	18000		
12675	150617	105155	1	P		2	125	6830	18000	3750	35000
12676	150617	105208	1	P		2	125	7317	18000	8400	37000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
12677	150617	105226	1	P	2	125		8080	18000	7200	35000
12679	150617	105247	1	P	2	125		6810	18000	7000	35000
12685	150617	105350	1	P	2	125	3	7839	18000	7300	35000
12686	150617	105353	1	P	2	125		8327	18000	7040	36000
12690	150617	105408	1	P	2	125		8408	18000	8200	36000
12703	150617	105533	1	P	3	124		11925	18000	7600	18000
12717	150617	105732	1	P	2	125		8371	18000	8900	35000
12725	150617	105910	1	P	2	125		7685	18000	8700	36000
12735	150617	110026	1	B	1	12		13109	18000		
12800	150617	110928	1	P	2	125		7120	18000	6425	38000
12803	150617	111018	1	P	1	12		11265	18000		
12804	150617	111031	1	P	2	125		8297	18000	7200	35000
12811	150617	111121	1	P	2	125		6408	18000	6890	36000
12818	150617	111223	1	P	2	125		8284	20000	7000	35000
12823	150617	111252	1	P	2	125	3	8000	18000	8600	36000
12831	150617	111408	1	P	2	125		8371	18000	8100	35000
12834	150617	111428	1	P	2	126	3	6830	18000	11300	36000
12840	150617	111510	1	P	3	124		11905	18000	7020	16480
12846	150617	111605	1	F	1	11		1891	3500		
12849	150617	111629	1	P	2	125		6890	18000	0	0
12877	150617	112129	1	B	1	17		16000	24000		
12879	150617	112152	1	P	2	125		7040	18000	9520	36000
12887	150617	112241	1	P	2	125		7000	17000	5280	35000
12895	150617	112335	1	P	2	125		7060	18000	5520	35000
12903	150617	112542	1	P	2	125		7575	18000	8682	35000
12909	150617	112636	1	P	2	125		7600	18000	5950	35000
12914	150617	112700	1	P	2	125		7050	18000	6000	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
12921	150617	112740	1 P		2	125		8200	18000	6710	35000
12926	150617	112806	1 P		2	125		8074	18000	8500	36000
12928	150617	112821	1 P		1	12		5960	11990		
12938	150617	113053	1 P		2	125	3	6545	18000	6770	36000
12947	150617	113313	1 P		2	125		8000	18000	6890	35000
12951	150617	113334	1 P		2	125		7630	18000	7570	35000
12955	150617	113418	1 P		2	125		8000	18000	6660	35000
12960	150617	113436	1 P		2	125		8286	18000	8900	35000
12965	150617	113516	1 P		1	12		9835	13000		
12974	150617	113653	1 P		2	125		6800	18000	7433	35000
12978	150617	113743	1 P		2	125		8052	18000	8200	36000
12985	150617	113821	1 P		2	125		8088	18000	8825	35000
12987	150617	113828	1 p		2	125		7905	18000	8900	35000
12993	150617	113905	1 P		2	125		7202	18000	5620	34000
12999	150617	113947	1 P		2	125		6810	18000	5110	34000
13006	150617	114041	1 P		3	123		11620	18000	6000	12400
13033	150617	114419	1 P		3	124		12920	18000	9305	16480
13050	150617	114705	1 P		2	125		8459	18000	8932	36000
13054	150617	114753	1 P		1	12		6430	12000		
13060	150617	114851	1 P		2	125		7960	18000	6700	35000
13068	150617	115017	1 P		2	125		6830	18000	5980	35000
13075	150617	115054	1 P		3	124		10706	18000	4350	16480
13076	150617	115108	1 P		2	125	3	6850	18000	5050	34000
13078	150617	115146	1 P		2	125		8561	18000	8300	35000
13085	150617	115312	1 P		1	12		4330	8600		
13089	150617	115350	1 P		2	125		7480	18000	8100	35000
13171	150617	120552	1 P		2	125		8700	18000	8500	34000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
13182	150617	120718	1 P		2	125		8031	18000	8942	35000
13190	150617	120830	1 P		2	125		8375	18000	7690	39000
13193	150617	120859	1 P		2	125		7535	19000	8025	35000
13201	150617	121000	1 P		2	125		6800	18000	6550	34000
13205	150617	121024	1 P		1	12		10570	14000		
13212	150617	121150	1 P		2	125		7050	18000	6980	35000
13217	150617	121234	1 P		2	125		7050	18000	6820	35000
13221	150617	121252	1 P		2	125		6700	18000	6000	34000
13222	150617	121306	1 P		2	125		8303	18000	8900	35000
13225	150617	121337	1 P		2	125		8224	18000	6420	36000
13237	150617	121524	1 P		2	125		8067	18000	8500	36000
13241	150617	121555	1 P		2	125		8594	18000	8565	36000
13251	150617	121710	1 P		1	17	3	13595	26000		
13256	150617	121740	1 P		1	12		10640	18000		
13259	150617	121754	1 P		2	125		7120	18000	8500	35000
13266	150617	121857	1 P		1	12		10000	13500		
13269	150617	121920	1 P		2	125		7350	18000	8492	35000
13272	150617	122000	1 P		2	125		6830	18000	4600	35000
13273	150617	122014	1 P		3	123		7469	18000	7800	34000
13278	150617	122104	1 P		3	176		11654	26000	6650	24000
13283	150617	122202	1 P		2	125		6800	18000	7390	35000
13285	150617	122225	1 P		2	125		8434	18000	8745	36000
13297	150617	122506	1 P		2	125		8175	18000	7040	35000
13300	150617	122538	1 P		2	125		8473	18000	7555	42000
13305	150617	122601	1 P		1	12		9500	12950		
13320	150617	122833	1 P		3	124		15460	18000	3745	13200
13322	150617	122852	1 P		2	125		8225	18000	7366	35000

No	Date	Time	Ln	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
13323	150617	122903	1	P		2	125	6408	18000	7500	34000
13328	150617	122941	1	P		2	125	7345	18000	6550	34000
13335	150617	123037	1	P		2	125	8227	18000	6883	35000
13375	150617	123554	1	P		2	125	8341	18000	8400	36000
13376	150617	123603	1	P		2	125	8588	18000	7417	35000
13386	150617	123735	1	P		2	125	8280	18000	7200	34000
13411	150617	124111	1	P		2	125	6830	18000	8900	36000
13426	150617	124438	1	P		2	125	7074	18000	5500	35000
13432	150617	124538	1	P		2	125	7705	18000	8925	35000
13433	150617	124550	1	P		3	123	7760	18000	3125	15000
13451	150617	124843	1	P		2	125	7090	18000	6050	35000
13456	150617	124917	1	P		2	125	6800	18000	7200	35000
13457	150617	124918	1	P		1	12	6750	15000		
13458	150617	124926	1	P		2	125	6800	18000	6711	35000
13459	150617	124938	1	P		2	125	9097	18000	8400	37000
13460	150617	124941	1	P		2	125	7360	18000	6690	35000
13462	150617	124954	1	P		2	125	7281	18000	5980	35000
13468	150617	125049	1	P		2	125	8135	18000	6400	36000
13471	150617	125126	1	P		2	125	8000	18000	7370	36000
13472	150617	125203	1	P		2	125	8210	18000	5242	35000
13474	150617	125215	1	P		2	125	8344	18000	7030	35000
13481	150617	125250	1	P		2	125	8324	18000	8400	38000
13486	150617	125331	1	P		1	12	8535	12000		
13487	150617	125339	1	P		2	125	7685	18000	7500	35000
13491	150617	125436	1	P		2	125	7568	18000	7650	35000
13492	150617	125437	1	P		2	125	6545	18000	6780	36000
13495	150617	125501	1	P		2	125	8001	18000	8500	15000

No	Date	Time	Ln	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
13497	150617	125528	1	P		1	12	7505	11990		
13500	150617	125545	1	P		2	125	8000	18000	8200	36000
13518	150617	125805	1	P		1	12	7830	18000		
13524	150617	125856	1	P		2	125	7120	18000	8220	35000
13526	150617	125930	1	P		3	124	11755	18000	8400	18000
13532	150617	130148	1	P		2	125	7120	18000	7620	35000
13542	150617	130425	1	P		2	125	8056	18000	9000	36000
13558	150617	130622	1	P		2	125	8286	18000	6470	39000
13561	150617	130651	1	P		2	125	7589	18000	8000	34000
13582	150617	130942	1	P		2	125	7608	18000	0	36000
13584	150617	131005	1	P		2	125	6870	18000	5700	36000
13589	150617	131048	1	P		2	125	6830	18000	7490	35000
13595	150617	131154	1	P		2	126	7850	18000	10700	36000
13599	150617	131251	1	P		2	125	7490	18000	5850	34000
13601	150617	131328	1	P		2	125	6875	18000	8900	35000
13605	150617	131413	1	P		2	125	8371	18000	8900	35000
13608	150617	131434	1	P		2	125	8300	18000	6883	35000
13609	150617	131502	1	P		2	125	7540	18000	8918	36000
13619	150617	131644	1	C		1	11	1762	3500		
13649	150617	132217	1	P		2	125	8700	18000	8161	35000
13651	150617	132239	1	P		2	125	6830	18000	8200	36000
13653	150617	132333	1	P		2	125	8297	18000	8500	36000
13656	150617	132403	1	P		2	125	7685	18000	0	37000
13659	150617	132424	1	P		2	125	8250	18000	8900	35000
13663	150617	132438	1	P		2	125	8546	18000	8500	36000
13669	150617	132512	1	P		2	125	6399	18000	5350	35000
13671	150617	132529	1	P		2	125	7683	18000	5850	34000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
13675	150617	132554	1	P	2	125		8546	18000	8048	35000
13679	150617	132633	1	P	1	12		5074	10000		
13680	150617	132649	1	P	2	125		7990	18000	8770	42000
13685	150617	132751	1	P	2	125	3	8371	18000	6030	34000
13689	150617	132812	1	P	1	17		11875	26000		
13698	150617	132957	1	P	2	126		7844	18000	7380	32000
13700	150617	133018	1	P	2	125		6810	18000	6450	35000
13713	150617	133236	1	P	2	125		7000	40000	8580	34800
13718	150617	133311	1	P	2	125		6100	18000	5150	34000
13720	150617	133344	1	P	2	125		7000	18000	6150	34000
13727	150617	133507	1	P	2	125		7685	18000	7955	35000
13740	150617	133632	1	P	2	125	3	7120	18000	6770	39000
13748	150617	133735	1	P	2	125	3	7275	18000	4950	36000
13755	150617	133831	1	P	2	125		8270	18000	7310	35000
13773	150617	134129	1	P	3	123		7760	18000	3020	18000
13774	150617	134139	1	P	1	14	3	11300	26000		
13778	150617	134222	1	P	2	125		8615	18000	7410	35000
13781	150617	134248	1	P	2	125		7000	17000	7200	35000
13785	150617	134424	1	P	2	125		7878	18000	8100	35000
13811	150617	134725	1	P	2	125		8430	18000	8918	36000
13826	150617	135010	1	P	2	125		6830	18000	6750	35000
13828	150617	135029	1	P	2	125		6810	18000	8600	36000
13829	150617	135035	1	P	2	125		14355	26000	9260	35000
13831	150617	135052	1	P	2	125	3	6545	18000	6950	36000
13844	150617	135302	1	P	2	125		7520	18000	8900	36000
20247	150618	102430	1	P	2	125		8000	18000	8900	36000
20267	150618	102740	1	P	1	17		12010	26000		

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
20270	150618	102817	1	B		12		13624	18000		
20273	150618	102834	1	P		125		8085	18000	8412	35000
20280	150618	103006	1	P		125		7670	19500	8600	36000
20281	150618	103016	1	P		125		7495	18000	8900	35000
20282	150618	103027	1	P		125		8062	18000	5800	36000
20287	150618	103112	1	P		125		8550	18000	7080	35000
20289	150618	103126	1	P		125		6120	18000	9000	35000
20292	150618	103223	1	P		125		7050	18000	6480	35000
20299	150618	103259	1	P		125	3	8310	18000	7370	35000
20301	150618	103309	1	P		125	3	7580	18000	7100	34000
20319	150618	103437	1	P		125	3	7300	18000	5338	34000
20320	150618	103445	1	P		12		6455	9500		
20327	150618	103616	1	P		125		8494	18000	6200	34000
20337	150618	103719	1	P		125		6830	18000	6430	35000
20338	150618	103733	1	P		125		8546	18000	8720	35000
20339	150618	103800	1	P		124		10940	18000	7800	17000
20353	150618	104021	1	P		125		8546	18000	6500	36000
20355	150618	104040	1	P		125		6800	18000	8048	35000
20356	150618	104053	1	P		125		7281	18000	7765	35000
20358	150618	104101	1	P		125	3	8700	18000	7479	35000
20361	150618	104135	1	P		125	3	7120	18000	7510	35000
20363	150618	104153	1	P		125		6120	18000	6670	36000
20366	150618	104234	1	P		124		12300	18000	7600	18000
20368	150618	104253	1	P		14	3	14030	26000		
20370	150618	104301	1	P		125		7750	18000	7200	35000
20372	150618	104319	1	P		125		7475	18000	8200	36000
20373	150618	104336	1	P		125		4150	18000	8500	36000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
20378	150618	104427	1	P	2	125		8415	18000	10000	36000
20382	150618	104453	1	P	2	125		8211	18000	7000	35000
20388	150618	104554	1	P	2	125		8301	21000	7200	35000
20395	150618	104656	1	P	2	125		8442	18000	9725	35000
20396	150618	104710	1	P	2	125	3	8000	18000	8900	39000
20399	150618	104735	1	P	2	125		7435	18000	8500	36000
20400	150618	104756	1	P	2	125		6830	18000	7240	35000
20405	150618	104838	1	P	2	125		7937	18000	9000	36000
20410	150618	104906	1	P	2	125		6399	18000	8100	35000
20412	150618	104950	1	P	2	125		7460	18000	6150	35000
20414	150618	105004	1	P	2	125	3	6850	18000	5500	34000
20416	150618	105029	1	P	2	125		6810	18000	6930	35000
20421	150618	105119	1	P	2	125		8810	18000	7150	35000
20430	150618	105246	1	P	2	125		6800	18000	6560	36000
20442	150618	105417	1	P	2	125		7000	18000	8610	35000
20448	150618	105449	1	P	2	125		7719	18000	6520	35000
20456	150618	105601	1	P	2	125		7105	18000	7400	34000
20458	150618	105617	1	P	2	125	3	8000	18000	8490	36000
20459	150618	105621	1	P	1	12		4720	9000		
20463	150618	105631	1	P	2	125		8700	18000	6800	36000
20468	150618	105712	1	P	2	125		7580	18000	6350	38000
20472	150618	105748	1	P	2	125		8453	18000	7400	36000
20474	150618	105802	1	P	2	125		6870	18000	0	35000
20476	150618	105810	1	P	2	125		7105	18000	6980	39000
20478	150618	105819	1	P	2	125		8010	18000	7090	35000
20480	150618	105825	1	P	2	125		8016	18000	6600	35000
20489	150618	105925	1	P	2	125		8550	18000	6500	36000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
20494	150618	110021	1 P		2	125		6399	18000	8100	35000
20508	150618	110233	1 P		2	125		9097	18000	8900	35000
20521	150618	110455	1 P		2	125		6830	18000	7260	35000
20522	150618	110506	1 P		2	125		8546	18000	7200	35000
20523	150618	110512	1 P		1	12		5530	12000		
20524	150618	110518	1 P		2	125		8058	18000	6600	39000
20541	150618	110725	1 P		2	125		6810	18000	6125	35000
20545	150618	110802	1 P		2	125		7905	18000	8350	36000
20546	150618	110809	1 P		2	125		6545	40000	6750	34000
20554	150618	110916	1 P		2	125		8120	18000	6711	35000
20558	150618	110947	1 P		2	125		8000	18000	7400	36000
20566	150618	111246	1 P		2	125		7736	18000	7380	35000
20569	150618	111318	1 P		2	125		8593	18000	8577	35000
20572	150618	111359	1 P		2	125		7790	18000	8552	35000
20575	150618	111425	1 P		2	125		7285	18000	6900	35000
20581	150618	111458	1 P		1	12		8500	18000		
20585	150618	111528	1 P		2	125	3	8042	18000	9000	37000
20590	150618	111611	1 P		2	125		8510	18000	8500	36000
20595	150618	111637	1 P		2	125		6545	18000	8200	36000
20600	150618	111727	1 P		2	125		6910	18000	5900	34000
20602	150618	111744	1 P		1	12		8260	18000		
20613	150618	111911	1 P		2	125		8378	20500	6890	35000
20623	150618	112122	1 P		2	125		7120	18000	8200	36000
20625	150618	112130	1 P		2	125		6800	18000	6720	35000
20639	150618	112405	1 P		1	14		10660	26000		
20642	150618	112454	1 P		1	12		6385	10000		
20648	150618	112610	1 P		2	125		6830	18000	6780	35000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
20649	150618	112616	1 P		2	125		8233	18000	8740	35000
20651	150618	112636	1 P		2	126	3	6955	18000	10360	36000
20711	150618	113543	1 P		2	125		7920	18000	7200	35000
20714	150618	113600	1 P		2	125		7120	18000	8500	39000
20726	150618	113815	1 P		2	125		6830	18000	7150	36000
20732	150618	113915	1 P		2	125		7300	18000	10790	36000
20740	150618	114017	1 P		2	125		8550	18000	8400	37000
20744	150618	114038	1 P		2	125		7600	18000	5360	35000
20760	150618	114243	1 P		2	125		6800	18000	7200	35000
20766	150618	114338	1 P		2	125		7350	18000	8900	35000
20790	150618	114747	1 P		2	125		8135	18000	800	900
20791	150618	114802	1 P		1	12		10400	18000		
20793	150618	114807	1 P		1	12		9000	18000		
20794	150618	114811	1 P		1	17		10245	26000		
20796	150618	114820	1 P		2	125		8227	18000	6570	35000
20803	150618	114926	1 P		2	125		8088	18000	8300	34000
20827	150618	115308	1 P		2	125		8546	18000	5300	36000
20829	150618	115314	1 P		1	12		8450	18000		
20848	150618	115627	1 P		2	125		8074	18000	7835	35000
20856	150618	115749	1 P		2	125		8000	18000	8760	35000
20866	150618	115927	1 P		2	125		8224	18000	6840	35000
20867	150618	115933	1 P		2	125		7040	18000	8725	35000
20872	150618	120014	1 P		2	125		8473	18000	8900	35000
20880	150618	120131	1 P		2	125		6838	18000	6880	39000
20887	150618	120234	1 P		2	125		8356	18000	7205	36000
20896	150618	120336	1 P		2	125		0	0	7180	35000
20898	150618	120347	1 P		3	124		6800	18000	7600	18000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
20908	150618	120521	1 P		2	125		7036	18000	7700	37000
20912	150618	120541	1 P		2	125		7540	18000	7000	35000
20922	150618	120645	1 P		2	125		7120	18000	8700	36000
20934	150618	120728	1 P		2	125		7600	18000	6300	35000
20937	150618	120751	1 P		2	125		8088	18000	8500	36000
20940	150618	120815	1 P		2	125		7435	18000	9725	35000
20948	150618	120906	1 P		2	125		7050	18000	6920	36000
20955	150618	121031	1 P		2	125		6965	18000	5600	34000
20969	150618	121238	1 B		1	12		13520	18000		
20977	150618	121329	1 P		2	125		6830	18000	7650	35000
20980	150618	121358	1 P		2	125		8672	18000	8900	35000
20981	150618	121413	1 P		2	125		8518	18000	8400	38000
20985	150618	121442	1 P		2	125		7400	18000	6400	34000
20993	150618	121540	1 P		3	124		11665	18000	7250	35000
21017	150618	121903	1 P		2	125		7000	17000	5410	35000
21030	150618	122218	1 P		1	12		5420	18000		
21031	150618	122228	1 P		2	126		8000	40000	8000	35000
21035	150618	122330	1 P		1	14		18240	26000		
21040	150618	122415	1 P		2	125		6545	18000	8200	36000
21043	150618	122443	1 P		1	17	3	9660	26000		
21048	150618	122508	1 P		1	14		10990	26000		
21051	150618	122538	1 p		2	125		7600	18000	8698	35000
21053	150618	122557	1 P		1	12		11235	18000		
21056	150618	122609	1 P		2	125		3525	18000	8633	35000
21060	150618	122623	1 P		2	125		8264	18000	6400	36000
21063	150618	122701	1 P		2	125	3	7612	18000	5300	40000
21066	150618	122718	1 P		2	125		6830	18000	8160	39000

No	Date	Time	Lne	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
21070	150618	122747	1 P		2	125		7938	18000	8910	39000
21071	150618	122825	1 P		1	12		9040	20000		
21076	150618	122858	1 P		2	125		8180	18000	8930	36000
21089	150618	123108	1 P		2	125		8187	20500	6600	39000
21090	150618	123123	1 P		2	125		8187	18000	6440	39000
21096	150618	123216	1 P		2	125	3	7478	18000	5710	35000
21100	150618	123311	1 P		2	125	3	7000	18000	6900	36000
21104	150618	123344	1 P		1	12		7040	15000		
21119	150618	123512	1 P		2	125		8664	18000	8900	35000
21124	150618	123551	1 P		3	124		10100	18000	4000	16480
21125	150618	123607	1 P		1	17	3	12580	26000		
21128	150618	123620	1 P		1	12		12000	18000		
21135	150618	123731	1 P		2	125		6120	18000	7230	36000
21139	150618	123801	1 P		2	125		7120	18000	7270	36000
21143	150618	123836	1 P		2	125		7510	18000	5700	34000
21154	150618	123940	1 P		2	125	3	8360	20500	7200	35000
21161	150618	124054	1 P		3	125		10670	18000	5900	24000
21165	150618	124118	1 P		2	125		7120	18000	6137	36000
21171	150618	124158	1 P		2	125		8130	18000	7200	35000
21191	150618	124437	1 P		3	176		11460	23100	8950	24000
21193	150618	124505	1 P		2	125		6835	18000	7200	35000
21209	150618	124809	1 P		2	125		7990	18000	8600	36000
21215	150618	124849	1 P		2	125		8116	18000	8750	35000
21230	150618	125056	1 P		2	125		7844	18000	5110	34000
21234	150618	125113	1 P		1	14	3	10560	26000		
21243	150618	125308	1 P		3	123		7760	18000	3125	15000
21251	150618	125413	1 P		3	126		8056	18000	11400	35000

No	Date	Time	Ln	CATEG VEH	CLASE VEH	TIPO VEH	EJES ELEVADOS	TARA TRACTOR	PMA TRACTOR	TARA REMOLQUE	PMA REMOLQUE
21262	150618	125536	1	P		2	125	6810	18000	6750	35000
21264	150618	125603	1	P		2	125	6830	18000	8200	36000
21272	150618	125711	1	P		2	125	8451	18000	8900	35000
21300	150618	130153	1	P		2	125	6800	18000	6900	35000
21391	150618	131758	1	P		2	125	6800	18000	6890	35000