

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE DETERIORO DE CAMIÓN EN LA ZONA CENTRAL DE ARGENTINA

Marta Pagola¹, Oscar Giovanon² y Jorge Ramoneda³

¹ Laboratorio Vial IMAE, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250 Rosario, pagola@fceia.unr.edu.ar

² Laboratorio Vial IMAE, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250 Rosario, ogiovanon@gmail.com

³ Dirección Nacional de Vialidad, 27 de Febrero 2199 Santa Fe, UTN Fac. Reg. Santa Fe jeramoneda@yahoo.com.ar

Resumen

Sin lugar a dudas, la circulación de camiones en la República Argentina es el principal medio para el intercambio de mercaderías. Su creciente demanda no está acompañada del conocimiento pormenorizado de los pesos reales por eje que permitan no solo diseñar estructuras nuevas y refuerzos de pavimentos, sino también predecir a ciencia cierta la vida útil de estructuras existentes. Si bien algunos autores, entre los que se pueden citar Lilli y Lockhart, han profundizado esta temática mediante el ajuste de los factores de camión en determinados tramos, son escasos los estudios de caracterización para la extensa red vial Argentina.

En el presente trabajo se profundiza la investigación de la valoración del factor de camión en tres arterias primarias Nacionales, RN N° 168, RN N° 9 y RN N° 11, direccionando el análisis de las cargas pesadas en tres pares de balanzas de la zona Centro del país, durante períodos superiores a dos años. Se muestra la diferencia entre las distintas balanzas y la variación de estos factores en el tiempo.

Dada las diferencias encontradas se propicia la sistematización de este tipo análisis para las diferentes balanzas existentes en el país y la difusión de estos resultados.

Palabras Clave: tránsito, espectros de carga, factores de deterioro

1 Introducción y objetivos

Dentro del gran número de factores que se consideran actualmente para el análisis estructural y diseño de pavimentos, el tránsito vehicular es uno de los más importantes y de mayor sensibilidad en relación con el espesor de las estructuras. Su caracterización adecuada es fundamental para poder concebir estructuras viales que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad asociados a inversiones óptimas en el tiempo.

La importancia de este factor es exponencialmente mayor en vías de alto tránsito pesado, como sucede en los ejes carreteros troncales del país, concentrados especialmente en la región centro, baricentro del comercio tanto nacional como internacional, sobre todo del transporte de productos básicos.

Argentina, como todos los países de la región, ejerce y penaliza el control de pesos y dimensiones amparados por la Ley 24.449 [1] y los Decretos Reglamentarios N° 779/95 y 79/98 en todos aquellos vehículos pesados que de acuerdo al tipo de ejes no respetan los máximos permitidos por eje o carga total. Atento a este marco regulatorio, los diseños de estructuras nuevas como proyectos de rehabilitación de calzadas adecuan la estimación teórica de pesos por ejes por distintos

procedimientos, pero entre los más utilizados se adoptan los valores máximos permitidos por peso y eje, respectivamente. Sin embargo, la tendencia a nivel mundial es profundizar este aspecto que tanta importancia reviste en términos de inversiones en obras de recuperación y desarrollo de las redes viales, adecuándolos al plano o situación actual dominante, que década tras década sufre cambios modales de tipo de transporte. Esta adecuación o articulación a escenarios actuales puede ser factible siempre y cuando las metodologías de recopilación de datos lo permitan en términos de fiabilidad y sistematización, y es en esta instancia en donde surge la real trascendencia los trabajos censales de peso que ejercen las balanzas fijas y dinámicas en gran parte de las arterias nacionales y provinciales.

Si bien la tendencia en el mundo es trabajar en censos con balanzas dinámicas tipo WIM (Weigh in Motion) y en los métodos de diseño mecanicistas trabajar con espectros de carga, en Argentina se sigue utilizando el criterio de expresar el tránsito como un número N, que indica el tránsito real expresado en ejes equivalentes de 80 KN, ó 18 kips según el método AASHTO, que producen el mismo efecto destructivo. Además, y por la falta de datos de composición y cargas del tránsito, se utilizan coeficientes de equivalencia por tipo de camión, los cuales fueron determinados en algunas rutas de Argentina cercanas a la Capital Federal hace muchos años.

En este trabajo se presentan los resultados de los análisis realizados en tres balanzas de peso por eje y peso total, ubicadas en rutas primarias de la República Argentina como lo son Rio Tala (RN N°9 - Km 151.00), Colastiné (RN N°168 - Km 10.50) y Margarita Belén (RN N°11 - Km 1051), durante el período 2013 - 2017.

2 Importancia del tránsito en el análisis estructural del pavimento

La importancia de establecer y controlar el peso de los vehículos pesados deriva, entre otros aspectos, del efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos. Si se considera un punto de vista mecánico, la carga aplicada a los pavimentos está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre éstos. Mayores niveles de carga conducen a una mayor probabilidad de daños en carreteras y puentes, con la consecuente disminución de la capacidad de carga estructural y por ende reducción de la vida útil [2].

Cabe indicar que el daño ocasionado a los pavimentos por efecto del peso de los ejes de los vehículos crece en forma exponencial respecto al incremento en el peso, por ejemplo, para el caso típico de una carretera en la zona centro del país, si se transporta un 10 % más de carga respecto a la máxima reglamentaria para un vehículo pesado común en la zona litoral de Argentina (camión con acoplado típico cerealero, configuración S1D1D1D2), la vida útil de la carretera disminuye un 29 %. Para el caso de presentar una sobrecarga por eje del orden del 20 %, la vida útil desciende drásticamente un 48 %.

2.1 Concepto de espectro de cargas

El término “espectro de cargas”, indica la frecuencia con que se presentan las diferentes magnitudes de las cargas (agrupadas en rangos), para cada tipo de eje considerado (habitualmente distinguiendo eje simple, tándem y trídem), en un determinado período de tiempo. Es conveniente, además, por diversos motivos, que el espectro de cargas se establezca de manera independiente para cada categoría de

vehículo pesado, distinguiendo al menos entre los siguientes: camión sin acoplado, camión con acoplado, semirremolque.

En la Figura 1 se muestra a modo de ejemplo el espectro de cargas para un camión con acoplado S1D1D1D2, en el puesto de RN N°168 Colastiné ascendente, año 2013.

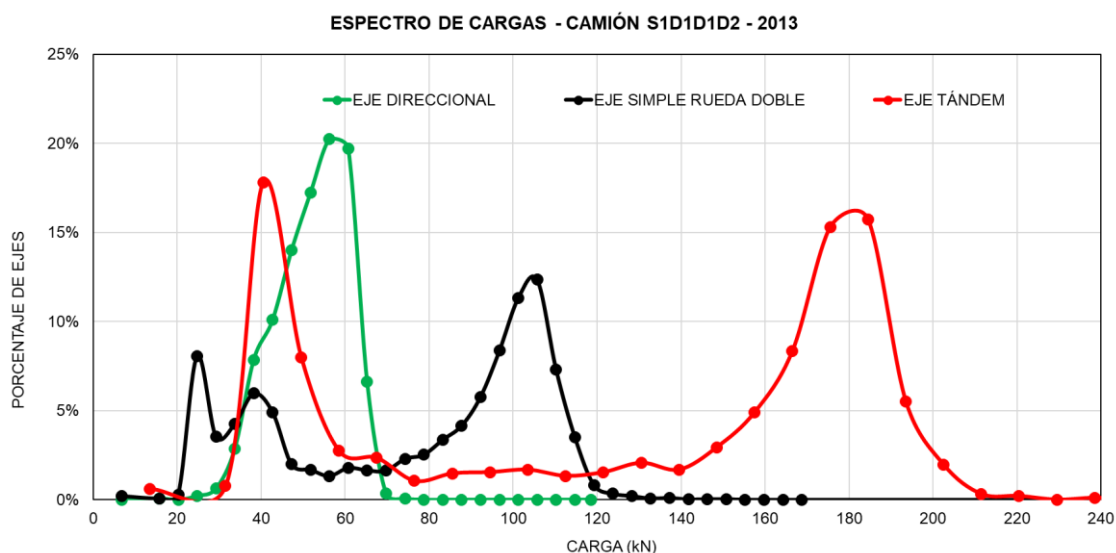


Figura 1. Espectro de cargas camión S1D1D1D2, balanza Colastiné ascendente, 2013

Entre los múltiples aspectos que se pueden mencionar en relación a los espectros de carga conviene destacar los siguientes:

- Cada punto del espectro de carga representa el porcentaje de ejes de un cierto tipo que circula con cierto nivel de carga.
- El espectro de carga caracteriza al tránsito pesado en el tramo carretero en donde se hace la medición. El seguimiento en el tiempo permite valorar la evolución de la distribución de las cargas, aspecto que está relacionado con la intensidad de las actividades económicas en el sector transporte.
- Con frecuencia los valores máximos permiten identificar los niveles de carga más usuales, niveles que se pueden asociar a si los vehículos circulan vacíos o con carga completa.
- Permite identificar los tramos carreteros en donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje.
- Permiten diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento con datos realmente representativos de una zona de la red carretera.
- Son indicadores de la severidad que se puede esperar de los distintos deterioros en una carretera a lo largo del tiempo. Esto puede de ser de particular interés para los responsables de la conservación y mantenimiento de una red carretera en términos de desempeño.

Por lo tanto, los espectros de carga son una herramienta de análisis para utilizar un esquema agregado de la clasificación vehicular, los cuales identifican cuantos ejes (simples, duales, trídem) se presentan para cada tipo de vehículo, para cada intervalo de carga.

2.2 Concepto de carga equivalente

El concepto de carga equivalente surge a efectos de determinar la acción destructiva de los diversos tipos de vehículos pesados sobre los pavimentos. Esta acción, conjuntamente con el daño ocasionado por el factor climático, deriva en una acción concurrente sobre cada elemento estructural del pavimento, el cual es complejo de discriminar.

Sin embargo, despejando el componente climático como factor común, es factible comparar los efectos destructivos debido a diferentes cargas y combinaciones mediante el concepto de equivalencia de cargas. Esta definición resulta muy importante en el diseño de pavimentos porque permite unificar y simplificar el espectro total de cargas de un determinado tránsito real, expresado a través de una carga simple P (elegida en la mayor parte de las formulaciones de 80 kN, 8.16 T o 18 kips) equivalente, que repetida N veces permite obtener el mismo efecto destructivo [3].

La fórmula usualmente utilizada para expresar que Ni cargas de peso Pi tienen el mismo efecto destructivo que Nj cargas de peso Pj, es la siguiente:

$$\frac{N_i}{N_j} = \left(\frac{P_j}{P_i}\right)^a \quad (1)$$

Donde a es el coeficiente que depende del tipo de estructura, flexible, rígida, semirrígida, espesores de las capas, tipos de cargas y deterioro.

El aspecto más importante a destacar es que n ejes equivalentes deben causar el mismo daño en el pavimento que un conjunto múltiple de ejes, reflejado a través de un criterio de falla dado, usualmente el de las deformaciones permanentes.

Retomando el concepto de carga equivalente, es importante indicar la significancia del término en la transformación o conversión del tráfico de una determinada sección transversal de una ruta en un número de reiteraciones del eje de referencia, denominado ESAL's (Equivalent Single Axis Load). Para alcanzar este valor característico de un tramo específico se utilizan los factores de carga equivalente LEF (Load Equivalent Factor), por ejemplo, los determinados por AASHTO en los tramos de prueba experimental, que básicamente expresan la relación entre la pérdida de serviciabilidad ocasionada por una determinada carga de un tipo de eje y la producida por un eje patrón de 18 kips (80 kN). [4]

$$LEF = \frac{N^{\circ} \text{de ESALS de 18kips que producen un } \Delta PSI}{N^{\circ} \text{de ejes de } x \text{ kips que producen el mismo } \Delta PSI} \quad (2)$$

Para el desarrollo de las formulaciones LEF, existen tres posibles enfoques:

- Enfoque empírico
- Enfoque mecanicista o racional
- Enfoque empírico mecanicista

2.2.1 Enfoque empírico

El enfoque empírico, se basa generalmente en el análisis estadístico de los datos experimentales y no es necesario establecer una justificación científica que explique el mecanismo involucrado. Un ejemplo del enfoque empírico es el modelo más

ampliamente difundido de desempeño del pavimento de AASHTO, establecido por el análisis estadístico de los datos de prueba AASHTO Road Test.

2.2.2 Enfoque mecanicista o racional

Las metodologías mecanicistas, pretenden tener un enfoque puramente científico, con un marco teórico suficiente que permita el análisis completo de la mecánica del comportamiento de un pavimento ante las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es, un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen, y se pueden determinar en laboratorio o en campo. Esta metodología facilita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioros que se pudieran presentar y, por ende, aumentar en gran medida la confiabilidad de los diseños.

En general, estos enfoques racionales permiten estimar los LEF para diferentes cargas de ejes como la relación de la respuesta del pavimento calculada con alguna carga o grupo de ejes y la respuesta calculada bajo la carga estándar del eje. La vida útil del pavimento, N , puede estar relacionada con un parámetro de respuesta del pavimento, tal como β , como sigue:

$$N = k_1 \times \left(\frac{1}{\beta} \right)^{k_2} \quad (3)$$

Donde k_1 y k_2 son constantes de materiales determinadas mediante una regresión matemática del ensayo de fatiga del material, β el parámetro de respuesta de pavimento que puede elegirse como uno de los siguientes parámetros:

- Esfuerzo máximo de compresión en la parte superior de la subrasante
- Esfuerzo máximo de tracción en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico.
- Máxima tensión de tracción en la fibra inferior de una losa.

Los métodos para el cálculo de LEF mecanicistas más utilizados se basan en la deflexión o cuenco de deflexiones, utilizando como condición de borde la deflexión vertical máxima en la superficie como parámetro fundamental de respuesta del pavimento, mientras que los métodos basados en la deformación pueden utilizar la deformación específica vertical máxima en la parte superior de la subrasante o la deformación máxima de tracción en el fondo de la capa de pavimento como parámetro de respuesta del pavimento. Por lo tanto, dependiendo de la condición de borde a adoptar, dependerán de cómo definamos la carga equivalente en término de LEF.

2.2.3 Enfoque empírico mecanicista

El enfoque empírico mecanicista, es un procedimiento de diseño estructural de capas de pavimento que se basa en el análisis mecanicista para determinar las respuestas del pavimento a la carga de las ruedas en términos de deformaciones unitarias, tensiones y deflexiones (ϵ , σ , Δ), y la parte empírica del diseño utiliza las respuestas del pavimento para predecir la vida del mismo, basado en observaciones hechas en campo.

2.3 Concepto de factor de equivalencia por tipo de vehículo

En Argentina se siguen utilizando métodos de diseño estructural de pavimentos flexibles que caracterizan el tránsito como un número N, que indica el tránsito real expresado en ejes equivalentes de 80 kN, ó 18 kips según el método AASHTO, que producen el mismo efecto destructivo. Para poder arribar al cálculo del mismo hace falta conocer el espectro de cargas de cada vehículo que circula o circulará por el tramo.

Para el cálculo del N se utiliza una expresión del siguiente tipo:

$$N_{(80KN)} = TMDA \times Fd \times Ft \times Fa \times Fp \times \Sigma(\% \text{ vehículo}_i \times Ce_{(80KN)_i}) \quad (4)$$

donde TMDA es el tránsito medio diario anual, Fd el factor de direccionalidad (si se considera que no existen diferencias entre ambos sentidos es igual a 0.5), Ft es el factor de trocha (a aplicar en calzadas multitrocha), Fp es el factor de acumulación del tránsito en el período de diseño, % vehículo_i es la participación porcentual del vehículo_i en el TMDA, y Ce_{(80KN)_i} es el coeficiente de equivalencia en efecto destructivo para el vehículo_i.

Para determinar el Ce_(80KN) de cada vehículo hace falta conocer el espectro de carga de los vehículos, donde se conoce no solo el volumen y composición del tránsito, sino también la distribución de cargas que los mismos llevan.

3 Antecedentes en Argentina de coeficientes de equivalencia en efecto destructivo para los vehículos

En Argentina existen varios antecedentes de estudios focalizados en determinar los coeficientes de equivalencia para vehículos.

En los años 90 la Dirección Nacional de Vialidad definió coeficientes para 12 categorías de camiones y ómnibus. En esa época los coeficientes fueron definidos para carga de referencia de 10 T, que luego fueron expresados para carga de referencia de 80 kN. Estos coeficientes surgieron a partir de los antecedentes de carga registrados por la repartición durante la década del 90. Inicialmente estos coeficientes se desarrollaron para ser aplicados solo a los vehículos cargados, motivo por el cual, en los años 80, se estimaba el porcentaje del total de camiones que circulaba cargado. Posteriormente ya en los años 90, ante la falta de documentación relativa al origen de los coeficientes (planillas de pesajes, vehículos pesados, rutas donde se pesó) y de precisión respecto de la magnitud de las sobrecargas y su distribución en las diferentes rutas que se presenta, ya sea por el tipo de carga transportada o la topografía, se decidió aplicar los coeficientes originales a todos los camiones, sin estimar el porcentaje de cargados.

En el año 1995, los Ings Lilli y Lockhart realizaron un trabajo de investigación en donde emplearon procedimientos mecanicistas mediante la teoría elástica para verificar y comparar los coeficientes de equivalencia de los distintos ejes, calculando a tal fin las deformaciones unitarias sobre la subrasante y fatiga sobre las carpetas de concreto asfáltico, tanto para la carga standard como para ruedas duales. Los autores analizaron datos de balanzas dinámicas y estáticas de las Rutas Nacionales N° 7, 8 y 14 arribando al factor de daño equivalente en función del número estructural SN y niveles de falla final, los cuales se integraron por eje logrando obtener los factores de

carga por cada configuración de camión presente en los tramos. El eje de referencia adoptado fue 80 kN, y se definieron los coeficientes para 26 tipos de camiones.

En el año 1997, los mismos Ings Lilli y Lockhart complementaron su estudio del año 1995, incorporando datos de la RN N° 9. Como resultado obtuvieron nuevos coeficientes para 14 tipos de vehículos. [5]

En el año 2010, el Ing Bavdaz realizó el análisis de los coeficientes de equivalencia vehículo, en base a la información de los espectros de carga registrados con sistema de pesaje WIM, en la Autopista Oeste, Ciudad de Buenos Aires. El estudio definió los coeficientes para 8 tipos de vehículos. [6]

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los coeficientes indicados en las referencias citadas. Los resultados muestran la variación de los coeficientes disponibles, lo cual es debido, fundamentalmente, a la localización de los datos y los espectros de carga utilizados en cada estudio.

Tabla 1. Coeficientes de equivalencia en efecto destructivo

Tipo de Vehículo	Distribución de ejes	DNV 1990	Lilli y Loc 1995	Lilli y Loc 1997	Bavdaz 2010
Ómnibus	S1D1	0.31	---	---	3.473
Camión sin acoplado	S1D1	2.64	0.726	1.337	1.076
	S1D2	2.51	0.494	0.653	2.164
Camión con acoplado	S1D1D1D1	5.28	2.949	2.734	---
	S1D1D1D2	4.29	4.552	4.418	9.384
	S1D2D1D1	5.17	3.867	4.111	---
	S1D2D1D2	4.22	2.519	2.437	---
	S1D1D1D1D1	---	3.046	4.004	---
	S1D2D1D1D1	---	0.142	0.142	---
Semi remolque	S1D1D1	3.56	2.622	2.499	5.176
	S1D1D2	3.96	1.541	1.598	4.856
	S1D1D3	4.51	2.369	2.447	5.093
	S1D2D1	---	1.752	2.224	---
	S1D2D2	3.85	1.693	1.745	---
	S1D2D3	4.09	1.189	1.222	---

En el método AASHTO 93 se indica que, para determinar el N de diseño cada institución debe valorarlo a partir del espectro de cargas que circulan por la ruta en análisis. En caso de no disponerse ese dato para una ruta en particular, al menos deben definirse coeficientes por región, de manera de representar lo mejor posible el tipo de vehículos que circulan (camión con acoplado, semirremolque), la tipología de las cargas (cereales a granel, barras de hierro, mercaderías) y nivel de carga (vacío, carga máxima legal, sobrecargado).

En el presente trabajo se determinaron los coeficientes para rutas nacionales de la Provincia de Santa Fe.

4 Balanzas seleccionadas para el estudio

Las balanzas seleccionadas para el presente estudio se encuentran ubicadas en la región centro del país, dominada principalmente por el transporte agrícola ganadero con destino a puertos locales e internacionales. La producción agropecuaria de esta región es una de las más importantes del país, la mayor parte de las exportaciones salen de allí. También se consideraron como insumos relevantes la continuidad de mediciones y la calidad de los datos cargados en forma sistemática por los técnicos competentes. Los equipos de pesaje que utiliza Vialidad Nacional son de clase III, que presentan gran precisión de medición en relación a la carga máxima permitida. Cada balanza en particular, tiene las siguientes características:

- Balanzas “Colastiné”, ubicación: Ruta Nacional N° 168, Km 10.44. Tipo de balanza fija, por conjunto de ejes. Plancha de dimensiones 3 m x 3 m. Registra un error de 1 división (50 Kg) en el peso mínimo de 1000 Kg, y de hasta 3 divisiones (150 Kg) en el máximo de 40000 Kg. Marca de la Balanza: Bianchetti. Fecha de inicio de operación: noviembre 2011.
- Balanzas “Río Tala”, ubicación: Ruta Nacional N° 9, Km 152. 5. Tipo de balanza fija, por eje. Plancha de dimensiones de 3 m x 1 m. Registra un error de 0.5 divisiones (25 Kg) en el peso mínimo de 500 Kg, y de 2.5 divisiones (75 Kg) en el máximo de 20000 Kg. Fecha de inicio de operación: marzo 2011.
- Balanzas “Margarita Belén”, ubicación: Ruta Nacional N° 11, Km 1041. Tipo de balanza fija, por conjunto de ejes. Plancha de dimensiones 3 m x 3 m. Registra un error de 1 división (50 Kg) en el peso mínimo de 1000 Kg, y de hasta 3 divisiones (150 Kg) en el máximo de 40000 Kg. Marca de la Balanza: Mettler Toledo. Fecha de inicio de operación: agosto 2011.

Para la elaboración de las estadísticas se adoptaron los registros existentes en el período 2013 a 2016, exceptuando el caso de la RN N°9 en donde se consideraron dos años consecutivos, procesando cada uno de los tickets confeccionados.

Los espectros de carga se organizaron mensualmente para cada tipo de eje: eje simple rueda simple, eje simple rueda doble, eje doble rueda doble y eje triple rueda doble. Los rangos de carga (que definen los intervalos de clase), utilizados en el presente informe son: para eje simple direccional y dual 4.5 kN, para eje tándem 6 kN y para eje trídem 13.5 kN.

4.1 Características del tránsito

En la Tabla 2 se muestra el TMDA, el porcentaje de vehículos pesados VP y el porcentaje de VP censados respecto al TMDA.

Tabla 2. TMDA y porcentaje de vehículos pesados

Año	Colastiné			Río Tala			Margarita Belén		
	TMDA	VP (%)	VP Censados /TMDA (%)	TMDA	VP (%)	VP Censados /TMDA (%)	TMDA	VP (%)	VP Censados /TMDA (%)
2013	11813	16.70	2.33	21600	31.90	0.85	6367	27.20	3.0
2014	11837	17.00	4.57	21400	37.80	0.74	6577	24.30	0.35
2015	12610	16.60	5.18	21200	42.00		6760	23.50	3.23
2016	12217	16.60	4.40	20000	37.80		6902	20.70	5.40

A través de los valores resumidos en la tabla, se verifica el gran impacto que significa el tráfico de vehículos pesados en rutas troncales de la región centro este del país, considerando que los mismos se encuentran por encima del 16 %. Si bien el porcentaje de vehículos censados es bajo respecto al total, inferior al 5.50 %, propio de una balanza fija no continua, se entiende que la precisión y utilidad de las mismas son asimilables a “censos de cobertura”, en donde podrían perfectamente complementarse con balanzas continuas automáticas tipo sistema WIM. La Dirección Nacional de Vialidad se encuentra en proceso de incorporar estos sistemas en las concesiones recientemente contratadas.

En función de los valores obtenidos, se verificó que el tránsito pesado predominante, y por lo tanto el que mayor concentración de pesajes acumula, proviene de la configuración S1D1D1D2, camión denominado “cerealero”, muy común en la zona centro del país que responde a la gran demanda de transporte de los insumos provenientes de la agroindustria, seguido por configuraciones del tipo S1D1 y S1D1D2.

4.3 Caracterización de las cargas en cada sección

En base a los datos procesados se realizó una caracterización detallada del nivel de cargas actuantes de cada balanza en estudio, presentado mediante gráficos de frecuencia de pesos medidos, clasificados de acuerdo a los intervalos adoptados precedentemente.

En la Tabla 3 se presentan el porcentaje de ejes sobrecargados por encima de la carga legal reglamentaria, discretizados para cada configuración de vehículo pesado, y considerando solo aquellos con cargas mayores a las máximas permitidas.

Para considerar estadísticamente los porcentajes de ejes sobrecargados, se tuvieron en cuenta solo aquellos pesos medidos superiores a las máximas cargas reglamentarias por eje de acuerdo a la Ley 24449, Decreto 779/95, Decreto 79/98, RES. S.T. 497/94. Es decir, peso de eje direccional superior a 6.0 T, eje simple dual superior a 10.5 T, eje tándem superior a 18 T, eje trídem 25.5 T. Los porcentajes mostrados son los promedios de sobrecarga durante el período estudiado, asociados a las configuraciones mencionadas.

Como se observa en la Tabla 3, en todas las balanzas y configuraciones de camión se censaron ejes sobrecargados. En la Tabla 3 se indicaron con color rojo los casos en que las sobrecargas promedio superaron el 10 %. El valor indicado es el promedio

del período, así que en situaciones individuales esas sobrecargas resultaron aún mayores.

Los tipos de camión con mayor cantidad de ejes sobrecargados son los camiones con acoplado tipo S1D1D1D2, S1D2D1D1. En los ejes trídém se encontraron menos situaciones de sobrecarga.

Tabla 3. Porcentajes promedio de sobrecarga en el período 2013 / 2016

	Camión	Porcentajes de ejes sobrecargados							
		Sentido ascendente				Sentido descendente			
		S1	D1	D2	D3	S1	D1	D2	D3
RN Nº 168 - COLASTINÉ	S1D1	0.92	6.25			0.44	3.77		
	S1D2	5.31		5.80		2.57		2.39	
	S1D1D1	0.24	0.48			0.00	0.57		
	S1D1D1D1	1.46	2.23			0.84	1.99		
	S1D1D1D1D1	6.30	8.22			8.17	7.31		
	S1D1D2	0.92	1.58	0.89		1.27	2.91	1.15	
	S1D1D1D2	6.59	25.55	25.67		7.41	21.17	20.85	
	S1D2D1D1	8.57	27.08	15.57		6.39	6.95	1.95	
	S1D1D3	3.85	17.41		6.17	3.42	24.61		12.16
	S1D2D2	4.03		1.31		22.11		5.43	
	S1D2D3	9.69		0.84	0.71	7.51		0.97	0.58
RN Nº 9 - RÍO TALA	S1D1	1.60	14.64			1.72	9.39		
	S1D2	9.76		10.84		3.88		5.28	
	S1D1D1								
	S1D1D1D1					1.13	11.87		
	S1D1D1D1D1					0	7.4		
	S1D1D2	5.47	17.68	4.04		2.63	16.13	3.06	
	S1D1D1D2	8.71	23.11	13.02		9.47	24.43	8.05	
	S1D2D1D1	9.47	32.85	19.14		22.53	25.91	6.61	
	S1D1D3	6.07	21.73		5.03	3.31	25.73		2.82
	S1D2D2	5.55		8.34		2.61		9.30	
	S1D2D3	1.14		6.75	1.14	4.9		0	2.39
RN Nº 11 - MARGARITA BELÉN	S1D1	2.39	13.04			1.21	12.95		
	S1D2	10.06		9.17		5.22		3.71	
	S1D1D1								
	S1D1D1D1	7.24	4.90			1.92	0.64		
	S1D1D1D1D1	3.30	4.30						
	S1D1D2	6.79	8.86	2.72		2.86	2.61	1.11	
	S1D1D1D2	14.46	22.31	19.13		19.04	26.99	22.91	
	S1D2D1D1	9.93	16.00	19.32		14.37	10.94	19.36	
	S1D1D3	11.64	17.12		7.76	16.02	27.76		7.97
	S1D2D2	5.93		14.80		7.42		21.46	
	S1D2D3	6.47		2.40	8.46	8.55		1.27	2.26

5 Análisis de los factores de camión

5.1 Procedimiento para el cálculo de los FC

Con los datos provenientes de las balanzas, se ha realizado para cada peso relevado por tipo de camión, el cálculo de los LEF y del FC según el método AASHTO 93, la metodología de la DNV y la formulación propuesta.

El análisis se realizó para estructuras de pavimento flexible, considerando un exponente de 4, en forma semejante al Método AASHTO.

Se muestran a continuación las ecuaciones de la formulación propuesta, donde se visualizan las cargas tomadas como referencia para cada uno de los ejes, en kN:

$$LEF_{EjeSimpleDireccional} = \left(\frac{P_i}{69,0} \right)^4 \quad (5)$$

$$LEF_{EjeSimpleDual} = \left(\frac{P_i}{80,0} \right)^4 \quad (6)$$

$$LEF_{EjeTandem} = \left(\frac{P_i}{147,0} \right)^4 \quad (7)$$

$$LEF_{EjeTridem} = \left(\frac{P_i}{196,0} \right)^4 \quad (8)$$

donde P_i es la carga del eje en kN.

Las cargas de referencia de los distintos ejes fueron tomadas de las referencias bibliográficas consultadas. En el caso del eje simple direccional, en muchas de las bibliografías no se encuentra referenciado, el valor que se adoptó fue obtenido como un promedio entre lo indicado por Scala y en los manuales del HDM4. [7] [8]

Con estas consideraciones se procedió a calcular el FC para períodos mensuales, para la carga censada en cada eje y el número de ejes de cada camión.

En las Figuras 2 y 3 puede observarse, a modo de ejemplo, la gran variación que el factor camión tiene para dos tipos de camión a lo largo del tiempo, para la balanza Colastiné. En cada Figura se muestran varias líneas, ellas se corresponden con el uso de distintas formulaciones para calcular el FC:

- La línea negra es la formulación propuesta
- La línea recta celeste es el FC de la DNV
- La línea recta bordó es el FC de Lilli y Lockart año 1997
- Las curvas de colores son los FC del Método AASHTO para un PSI final de 2 (Pt) y tres valores de número estructural SN, 2, 3 y 4

Como se observa, este coeficiente es muy variable en el tiempo, dependiendo de numerosos factores, entre los que puede citarse la estacionalidad por los períodos de cosecha, por ejemplo.

En la comparación de los FC calculados por distintos métodos, puede decirse que los resultados de la formulación propuesta son similares al Método AASHTO, siendo la única diferencia el valor de la carga de referencia utilizada para el eje simple direccional. Se utilizó 69 KN según lo indicado en las referencias bibliográficas, y porque el Método AASHTO no diferencia este eje simple direccional con el eje simple rueda dual de carga.

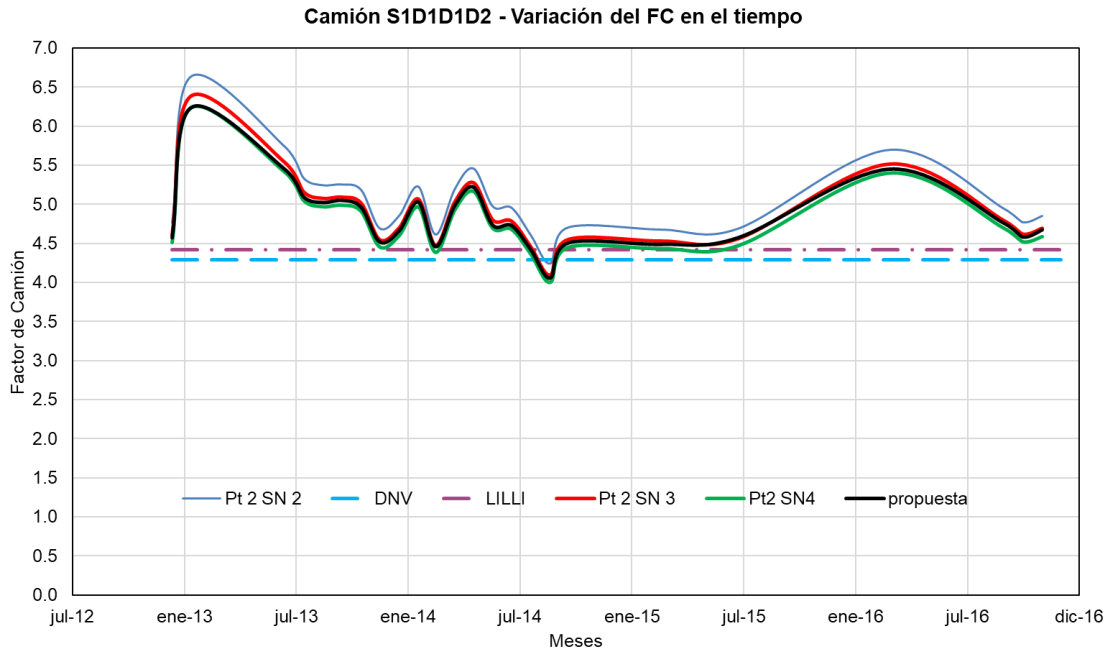


Figura 2. Variación del FC balanza Colastiné calzada descendente, S1D1D1D2

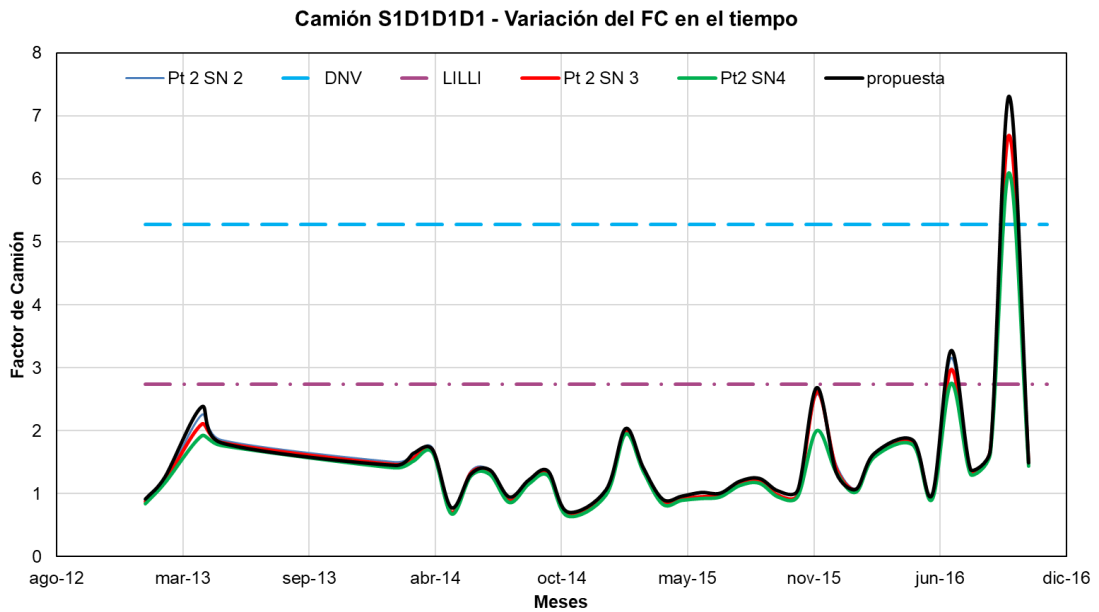


Figura 3. Variación del FC balanza Colastiné calzada ascendente, S1D1D1D1

5.2 Determinación de los FC para cada vehículo / balanza

Una vez obtenidos los FC de cada camión para cada mes del período de análisis, se determinó un FC representativo del vehículo como el percentil 50 de FC del período.

Los resultados muestran que el FC difiere no solo entre balanzas sino también entre los sentidos ascendente y descendente de una misma balanza.

Tabla 4. Comparación FC para distintas balanzas y métodos usados en Argentina

Camión	DNV (80kN)	Lilli y Lockart 1997	Bavdaz 2010	Colastiné		Río Tala		Margarita Belén	
				asc	desc	asc	desc	asc	des
S1D1	2.64	1.337	1.076	0.71	0.57	1.67	1.12	1.36	1.13
S1D2	2.51	0.653	2.167	0.79	0.77	1.20	0.95	1.32	0.93
S1D1D1D1	5.28	2.734		1.33	1.60		3.81	2.17	1.52
S1D1D1D2	4.29	4.418	9.384	5.03	4.73	5.32	5.45	5.51	5.96
S1D2D1D1	5.17	4.111		5.36	3.09	7.14	6.06	5.68	5.08
S1D2D1D2	4.22	2.437							
S1D1D1D1D1				6.76	5.95		6.11		
S1D1D1	3.56	2.499	5.176	0.74	0.85		1.57		
S1D1D2	3.96	1.598	4.856	0.94	1.25	2.47	2.56	2.08	1.08
S1D1D3	4.51	2.447	5.093	2.60	3.76	3.48	3.10	3.41	3.56
S1D2D2	3.85	1.745		1.13	1.96	2.85	3.03	2.51	2.91
S1D2D3	4.62	1.222		2.73	2.35	2.87	2.30	3.19	2.84

En relación a los factores de camión, los resultados indican que no es factible realizar una caracterización fidedigna a nivel regional, verificando una notable variación entre los tres puestos de balanzas estudiadas.

Comparando los factores de camión finales respecto a los propios de Vialidad Nacional, en el 90 % de los casos los valores obtenidos de las balanzas resultan inferiores.

Ahora bien, si se comparan con los propios de Lilli y Lockhart los valores son más homogéneos, notándose que la Balanza Colastiné es la que más se aproxima. Las restantes resultan superiores en la mayor parte de las configuraciones.

Si se comparan los resultados obtenidos por Bavdaz, en función de los espectros de carga de la Autopista del Oeste, éstos resultan muy superiores a los registrados en el presente estudio, incluso mayores a los factores de camión adoptados por la DNV.

6 Conclusiones

Las balanzas adoptadas para el análisis se ubican sobre arterias principales de la Red Vial Nacional, precisamente son las Rutas Nacionales N° 168, N° 9 y N° 11. Estas arterias son vías de transporte de cereales, mercaderías y cargas generales en la región centro este del país, con fuerte impronta agroindustrial y en menor medida transferencia internacional de cargas.

Las balanzas propuestas presentan un TMDA de vehículos pesados en el rango de 16.60 % a 42.00 %, promediando 26.00 %. El porcentaje de vehículos pesados medidos en el período 2013 - 2016 fue inferior al 5.5 % del total de camiones que transitaban por la sección. La mayor cantidad de camiones relevados corresponden a configuraciones del tipo S1D1D1D2, S1D1D2, S1D2D1D1 y S1D1D2.

Las cargas legales de circulación en jurisdicción de la Rep. Argentina están reglamentadas por la Ley 24449, que limita las cargas por cada tipo eje para preservar la infraestructura viaria. En este análisis se verificó que el eje que presentaba mayor incumplimiento es el eje simple dual, promediando el 12.0 % del total de ejes de ese

tipo auscultado. En esta línea le sigue el eje direccional promediando 6.1%, el tándem y el tridem respectivamente. Considerando el eje simple dual, las configuraciones más impactadas fueron S1D1D1D2 y la S1D1D3.

En referencia al eje direccional podría evaluarse un aumento de la carga legal, dada su equivalencia en efecto destructivo y que este eje concentra la totalidad de la carga en el peso propio correspondiente a los elementos mecánicos que forman parte del tren delantero como así también en el peso propio del motor, éste último condicionado también por la relación peso potencia.

Del análisis de los espectros de carga quedó en evidencia en algunas configuraciones la estacionalidad asociada al transporte de mercaderías. Es así que en las configuraciones S1D1D1D2, S1D1D1D1D1, S1D2D1D1, S1D1D3, entre otras registraron picos bien marcados en sus respectivos espectros.

Del análisis estadístico comparativo de los factores de camión se concluye que en la mayor parte de las balanzas se registra una variación dentro de los límites conformados por los factores de camión adoptados por Vialidad Nacional y un valor mínimo calculado por Lilli Lockhart (1997). Por lo tanto, dentro de esta área convergen entre 60 % y 67 % de los resultados, sobre el límite superior entre el 10 % y 20 % y por debajo del inferior entre el 18 % y 30 %. En este sentido, el factor de equivalencia asociado al eje simple direccional presenta la mayor divergencia entre la formulación propuesta y el método AASHTO 93, magnitud que posteriormente se traslada a la configuración del camión en análisis. Es factible que esa diferencia se deba al valor adoptado de 69 kN, mientras que el método AASHTO 93 al no estar indicado ese valor se adoptaron los LEF correspondiente al eje simple dual de 80 kN.

Analizando el comportamiento del factor de camión en el tiempo, tanto en las balanzas “Colastiné” como las propias de “Margarita Belén”, se verifica una tendencia hacia la baja, no así en las balanzas “Río Tala”, en donde no se distingue tal situación. En cuanto a los picos, se verifican picos estacionales variables asociados a cargas de distinta índole, sin embargo, no sobresalen por demás los picos asociados a períodos de cosecha, lo que estaría indicando la homogeneidad anual existente en materia de transporte de mercaderías.

A nivel general, si se comparan los factores de camión obtenidos en las distintas Rutas, se obtuvieron diferencias apreciables. Los factores de camión de “Colastiné” resultaron ser menores a las otras dos balanzas en la mayor parte de las configuraciones. Se presenta cierto equilibrio entre las Balanzas de Río Tala y Margarita Belén.

Por lo tanto, se concluye que no es recomendable caracterizar incuestionablemente el tránsito pesado de la región centro este del país mediante determinados espectros de carga, por lo que resulta primordial ampliar en el conocimiento específico de espectros en cada sección estudiada, logrando de esta manera una red pormenorizada de datos de base. Para mejorar y difundir este tipo de análisis sería deseable que se incorporen en la red vial balanzas dinámicas tipo WIM (Weigh in Motion), de manera de censar mayor cantidad de vehículos.

7 Referencias

- [1] Poder Ejecutivo Nacional, “Ley de Tránsito; N°: 24449”, 1994.
- [2] Hernández Jiménez, J.; Fabela Gallegos, M. “Diseño y construcción de un prototipo para determinar el peso de vehículos ligeros en movimiento”. Publicación Técnica No. 247. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México. 2004.

- [3] Lilli, F. y Lockhart, J., "Ejes equivalentes para el diseño de pavimentos flexibles". XXVIII Reunión del Asfalto, Buenos Aires (Argentina), 1995
- [4] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, AASHTO, Washington D.C., 1993.
- [5] Lilli, F. y Lockhart, J., "Ejes equivalentes para el diseño de pavimentos flexibles, segunda parte". IX CILA, Paraguay, 1997.
- [6] Bavdaz G., Tesis de Maestría de Ingeniería Vial "Diseño estructural de pavimentos: comparativa de metodologías clásicas y modernas desde el punto de vista de los espectros de carga". Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires. 2010.
- [7] Scala, A. J., W. J. Cogill, and A. McNeil. "Comparison of the Response of Pavements to Single and Tandem Axle Loads," Proceedings, Fifth ARRB Conference (5A), 1970.
- [8] HDM4, "Highway development and management ", PIARC.