

# EFFECTO DEL TRÁNSITO EN LAS ESTRUCTURAS DEL PAVIMENTO



“Se dice que diseñar un pavimento es un arte; el arte de utilizar materiales que no conocemos completamente, en formas que no podemos analizar con precisión, para que soporten cargas que no sabemos predecir, de tal forma que nadie sospeche nuestra ignorancia“

**Paul Garnica Anguas**



## EFFECTO DEL TRÁNSITO EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO



Ref: Ejemplo de estación de pesaje para camión.

Durante el servicio y operación de las estructuras de pavimento, resulta fundamental el control sobre los vehículos de carga para que no excedan los límites en cuanto a peso considerado en los diseños, lo anterior asociado al conocimiento de las cargas reales que transmiten los camiones por cada tipo de eje, lo cual permite minimizar la incertidumbre, optimizando los procesos de diseño de pavimentos y la gestión de estos para su conservación, adaptando y adoptando esta variable a las condiciones locales.

La variedad de tipologías de vehículos pesados que circulan por las vías de la ciudad de Bogotá y la distribución de la

carga que se transmite a través de las llantas de estos al pavimento, generan diferentes tipos o formas de análisis, una de ellas corresponde a los espectros de carga

Avanzar en el conocimiento de los espectros de carga, permite calcular el efecto que sobre el pavimento tiene el paso de las diferentes tipologías de vehículos, con las cargas reales que se transmiten al pavimento.

La tipología de los vehículos de carga empleada para este análisis, corresponde a la establecida por el Ministerio de Transporte, donde clasifica los vehículos pesados según el número de ejes, así:

C2: Camión de dos ejes, puede ser C2P camión pequeño o C2G camión grande.

C3: Camión de tres, incluye la categoría C2S1.

C4: Camión de cuatro ejes, incluye las categorías C2S2 y C3S1

C5: Camión de cinco ejes, incluye las categorías C2S3 y C3S2

>C5: Camión de más de cinco ejes, incluye la categoría C3S3.

Expuesto lo anterior, se define como espectros de carga a la relación de un tipo de eje con un rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje (sencillo dual, tándem y trídem). Algunos estudios del tránsito consideran que los espectros de carga son la manera más eficiente de caracterización en términos de tipos de eje y su respectivo daño.

## Factor de equivalencia de carga y daño

El factor de equivalencia y daño están asociados al efecto generado por fatiga en la estructura de pavimento, dado por el paso de un eje con carga P, respecto al daño producido por el paso del eje de referencia.

## Metodología

La metodología adelantada para la toma de información en campo y posterior análisis de los espectros de carga, consistió en la selección las vías arteriales que correspondieran a los corredores de carga, mediante análisis de volúmenes

y tendencias se identificaron los puntos en los cuales el comportamiento de los vehículos pesados no se modificaba sustancialmente.

Posteriormente, se determinó la composición vehicular en las vías arteriales seleccionadas, con el fin de caracterizar los vehículos de transporte terrestre de carga que transita por la red vial arterial de la ciudad de Bogotá.

Los corredores en donde se establecieron los puntos de pesaje fueron: Avenida Boyacá, Avenida Ciudad de Cali, Avenida 68 – Congreso eucarístico, Autopista Norte y Avenida Norte Quito Sur – Autopista Sur (Ver mapa no. 1)<sup>1</sup>.

## Mapa No. 1. Puntos de Pesaje



Fuente: IDU - DTE

<sup>1</sup> Toma de información adelantada mediante concepto técnico con la UNAL (Contrato interadministrativo 020-2008) y Contrato 061-2011 con PROJEKTA Ltda.

En cada uno de los anteriores puntos se determinó el peso vehicular y el peso por eje para una muestra estadística de vehículos de transporte terrestre de carga, obtenida a partir de la caracterización del tránsito, teniendo en cuenta los tipos de vehículos establecidos en las normas vigentes a nivel nacional (Figura 1).

**Figura No. 1. Estación de Pesaje Auto Sur**



Fuente: IDU - DTE

Con los datos recopilados en las estaciones de pesajes se elaboraron los espectros de carga para cada una de las tipologías de vehículos pesados que circulan por vías seleccionadas, así mismo, se determinaron los coeficientes de agresividad media (CAM) y factores de equivalencia de carga, por medio de la metodología AASHTO (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte); lo anterior para identificar la incidencia de las cargas excedidas sobre la vida útil de las estructuras de pavimento flexible, empleando las mediciones máximas permitidas y las excedidas para cada tipo de eje y vehículo.

## Resultados y análisis.

Del ejercicio realizado y la toma de información en campo, se obtuvieron los espectros de carga, por tipo de eje y de vehículo, a continuación se presenta dos ejemplos para camiones tipo C 2 y C3S3, en le corredor de la Av. BOYACÁ.

En las figuras 2 y 3 se observa los espectros de carga en el corredor de la Av Boyacá, para el camión tipo C2 sentido sur-norte y para el camión tipo C3S3 sentido norte-sur. (La barra roja de las figuras presenta las cargas admisibles, lo que permite identificar las cargas excedidas).

Para los camiones tipo C2 (figura 2) se observa que las cargas medidas para cada eje se encuentra en gran mayoría por debajo de los valores admisibles, lo cual podría sugerir que muchos de los vehículos en esta estación pasaron vacíos o con mercancías que ocupa volumen pero sin un peso importante.

De otra parte, las mediciones realizadas para el camión tipo C3S3 (figura 3), en el corredor de la Av Boyacá, muestra una distribución de cargas cercana a la carga máxima por eje, presentando un 5% por eje simple, 36% por eje tándem y 40% por eje trídem.

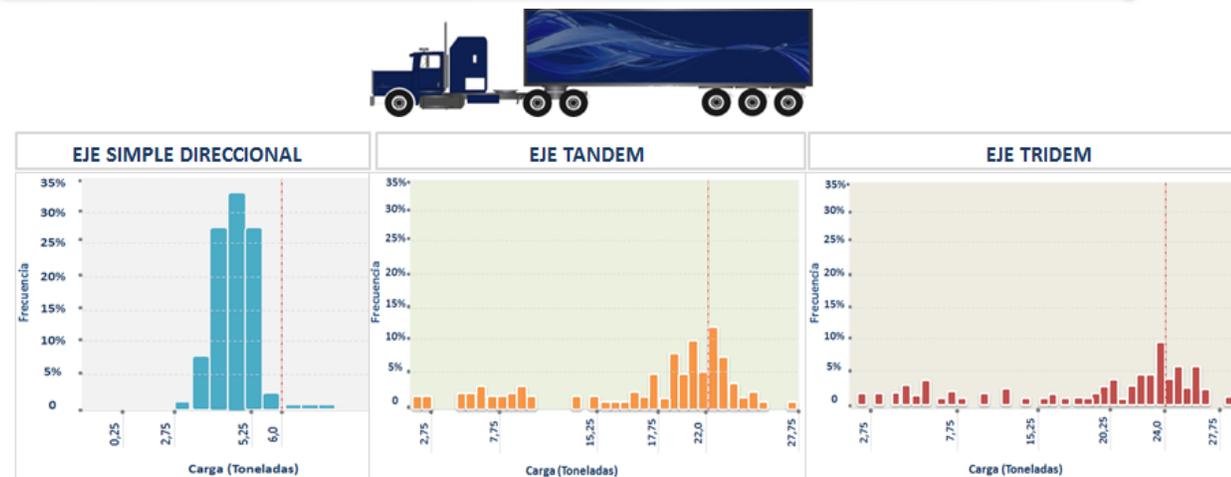
Con respecto a la magnitud, la sobrecarga promedio presentada es de 1 ton, 1.3 ton y 1.4 ton en los ejes simples, tándem y trídem respectivamente.

Figura No. 2. Espectro de carga camión C2, Av. Boyacá (Sentido: Sur – Norte)



Fuente: IDU - DTE

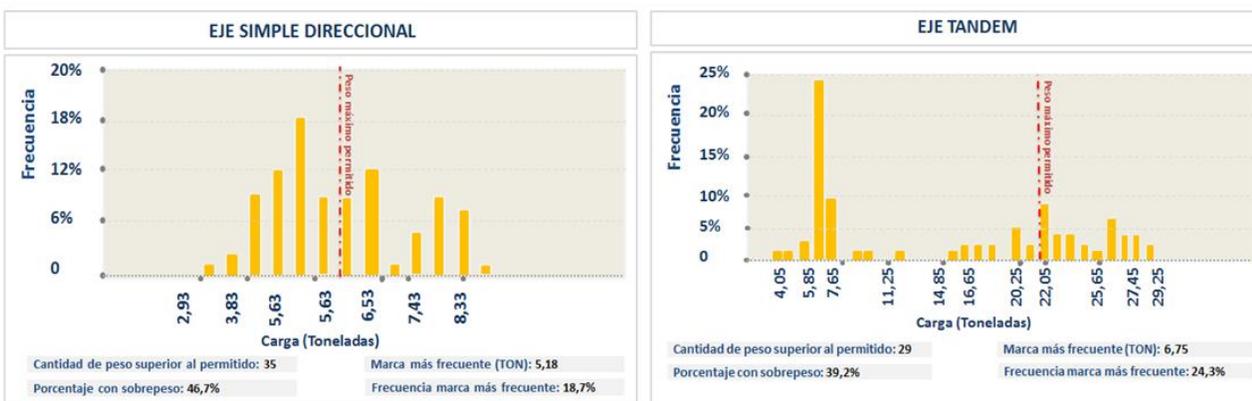
Figura No. 3. Espectro de carga camión 3S3, Av. Boyacá (Sentido: Norte – Sur)



Fuente: IDU - DTE

Por otra parte, analizando los vehículos tipo C3 para el corredor de la NQS, se observa un sobrepeso importante en el eje direccional y en tándem. No obstante, se evidencia una configuración de carga uniforme en este tipo de vehículos. Un ejemplo del espectro de carga para estos camiones se presenta en la figura 4.

Figura No. 4. Espectro de carga (Camión C3) – Estación de pesaje: 09 NQS – Av. Las Américas



Fuente: IDU - DTE

## Coefficiente de agresividad media y Factor de equivalencia carga o factor daño

El coeficiente de agresividad media se calcula para los vehículos pesados con respecto a una carga de referencia de 130 KiloNewton (KN). Este coeficiente representa el daño calculado a partir de la distribución de carga obtenida en los espectros de carga, siendo un promedio entre los vehículos de un mismo tipo que transitan vacíos o con carga entre los límites permitidos y aquellos con sobrecarga.

Particularmente el ejercicio para determinar el CAM se adelantó para la avenida Boyacá, empleando la información de pesaje de cuatro puntos en los dos sentidos de avance.

Para verificar los resultados obtenidos con las carga reales, se calculó el coeficiente de agresividad nominal (AN) para cada uno de los vehículos y las cargas máximas permitidas. La tabla 1 presenta los resultados encontrados.

Por otra parte, el factor de equivalencia de carga se evaluó para cada uno de los vehículos de carga del estudio mediante la metodología AASHTO, la cual calcula un coeficiente teniendo como referencia una carga de 8.2 toneladas, lo anterior para el número y tipo eje evaluado.

Los factores de equivalencia de carga AASHTO son calculados para estructuras de pavimento flexible, con una condición de índice de servicio final (Pt = 3), debido a que las condiciones actuales de los corredores analizados son buenas y partiendo del supuesto que se han adelantado actividades de mantenimiento periódico y rutinario para no alcanzar la condición de rehabilitación o reconstrucción parcial. De acuerdo con lo anterior, para el cálculo se asume un número estructural (SN= 5) para cada corredor vial.

Como referente, del factor de equivalencia se presenta el calculado para la Avenida Boyacá, en la que se empleó la información de pesaje de los puntos de toma de datos en los dos sentidos de avance (tabla 2).

Tabla No. 1 – Coeficiente de agresividad ponderada en la Av. Boyacá

Tipo de Vehículo	Coeficiente de agresividad nominal (A <sub>N</sub> )	Cl. 170		Cl. 72		Cl. 17		Villavicencio	
		Sentido		Sentido		Sentido		Sentido	
		N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N
2 	0,41	0,19	0,12	0,21	0,38	0,18	0,14	0,20	0,41
3 	0,61	0,35	0,24	0,34	0,19	0,31	0,26	0,17	0,47
2S2 	0,42	0,15	0,12	0,13	0,16	0,05	0,09	0,39	0,02
3S2 	1,06	0,41	0,05	0,42	0,08	0,24	0,39	0,17	0,57
3S3 	0,88	0,69	0,12	0,34	0,12	0,42	0,34	0,32	0,52

Fuente: IDU - DTE

Tabla No. 2 - Factor de equivalencia AASHTO para la Av. Boyacá (SN = 5 Y P<sub>t</sub> = 3.0)

Tipo de Vehículo	Factor AASHTO nominal	Cl. 170		Cl. 72		Cl. 17		Villavicencio	
		Sentido		Sentido		Sentido		Sentido	
		N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N	N-S	S-N
2 	3,0	1,14	0,85	1,22	1,9	0,88	0,86	1,27	1,88
3 	4,0	2,0	1,51	2,44	1,32	2,08	1,65	1,36	2,27
2S2 	3,72	1,06	0,96	0,49	1,23	0,49	0,88	2,76	0,35
3S2 	7,02	3,16	0,50	3,08	0,66	1,96	2,84	1,83	4,05
3S3 	5,54	4,25	0,97	2,27	1,02	2,58	2,30	2,58	3,33

Fuente: IDU - DTE

De la tabla 2 se identifica que los valores correspondientes al factor de equivalencia de carga más altos, están asociados a los vehículos que atraviesan la Ciudad de norte a sur. Sin embargo y particularmente, para los vehículos de carga que transitan por el carril en sentido sur norte por la estación de la Av. Boyacá con la Av. a Villavicencio este factor es mayor debido al flujo vehicular con carga que entra a la Ciudad.

En todos los casos evaluados, los factores obtenidos no superan o igualan el valor de factor de equivalencia nominal, calculado para las cargas máximas admisibles. El factor de equivalencia AASHTO en cada uno de los vehículos es mayor en el sentido norte sur, siendo esta la condición que prevalece respecto al análisis de direccionalidad en la avenida Boyacá.

### Conclusiones y recomendaciones

La importancia de este estudio es la obtención de los factores daño ajustados

para la condición local y así aplicarlos a los diseños de pavimentos para Bogotá. Es así que, comparados los factores de daño con los valores tradicionalmente empleados en los diseños, los cuales corresponden a los definidos por el INVIAS (Figura 5), se observa que las condiciones de operación en Bogotá de los vehículos pesados es diferente a la red vial nacional y por tal motivo se debe tener en cuenta estas particularidades.

Figura No. 5. Factores de Daño calculados vs INV

INVIAS			IDU		
Tipo de Vehículo	Factor de Daño		Tipo de Vehículo	Factor AASHTO nominal	
	Vacío	Cargado			
C2p	0,01	1,01	C2 	3,0	
C2g	0,08	2,72	C3 	4,0	
C3 - C4	0,24	3,72	C4 	3,72	
C5	0,25	4,88	C5 	7,02	
>C5	0,26	5,23	>C5 	5,54	

Fuente: IDU - DTE

Adicionalmente, se observó una clara dependencia de los espectros en función del sentido vehicular analizados para una misma estación de pesaje, relacionado principalmente por los centros de acopio y distribución de mercancías. Los vehículos tipo C3 presentan un mayor porcentaje de sobrepeso en sus ejes, y corresponden a los empleados en actividades de reparto, en tal sentido y teniendo en cuenta que el factor daño es mayor que el sugerido por el INV, es necesario reevaluar los valores empleados en los diseños urbanos.

Es así como, el coeficiente de daño nominal para un vehículo tipo C2 y tipo C3 se obtiene un factor de equivalencia AASHTO de 3.0 y 4.0 respectivamente; aunque el coeficiente de daño para el vehículo tipo C3 es mayor, la relación que guarda este coeficiente con la carga movilizada es menor que la del vehículo tipo C2.

Así mismo, se observó que ante una mayor área de contacto (mayor número de llantas), el esfuerzo transmitido a la estructura de pavimento decrece. Por lo anterior, es recomendable que los vehículos rígidos de carga tengan en su configuración un eje trasero tipo tándem.

Se recomienda que para el vehículo tipo C2 se regule la capacidad máxima permitida de 5 toneladas en su eje simple direccional y 10 toneladas en su eje trasero, ya que estas cargas producen la misma relación de daño que un vehículo tipo C3 con la carga máxima permitida por la resolución 4100 de 2004.

De tal forma, se sugiere evolucionar al uso de llantas más anchas en el eje delantero para una adecuada transferencia de carga con un menor esfuerzo.

Finalmente, con el fin de mitigar el efecto de vida útil, se recomienda implementar sistemas de control de pesaje urbano, que servirá como medio disuasivo para generar conciencia entre el gremio de transporte de carga y evitará intervenciones en las estructuras de pavimento en un tiempo menor al proyectado.