



| Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabajo Técnico, elaborado para ser presentado en el *XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto* a realizarse entre el 20 y el 25 de noviembre de 2011 en Rio de Janeiro, fue seleccionado por el Comité Técnico del evento para dicho fin, de concordancia con las informaciones contenidas en el resumen sometido por el/los autor(es). Tal cual presentado, su contenido no fue revisado por el IBP. Por ende, los organizadores no traducirán ni corregirán los textos recibidos. La versión original del material presentado no refleja necesariamente las opiniones del *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*, sus Asociados y Representantes. El/los autores de este Trabajo Técnico tienen pleno conocimiento de esto y aprueban su publicación en los Anales del *XVI CILA – Congreso Ibero-*

Latinoamericano del Asfalto.

Resumen

En el diseño estructural de pavimentos, la carga y el clima son los factores principales que determinan los espesores de los pavimentos y los materiales. En Costa Rica, por diversos motivos históricos se ha aceptado la metodología AASHTO 86-93, como una metodología válida para el diseño de pavimentos. Sin embargo, es necesario cuantificar el parámetro de carga para el diseño de pavimentos para las principales vías del país, sin extrapolar las cargas de otras regiones. Unificar el parámetro de carga permite facilitar el diseño de pavimentos, para ello es necesario determinar una carga representativa local, con información tomada en sitios de pesaje, bajo condiciones reales de carga. A partir del año 2008, el gobierno por medio del MOPT-CONAVI, específicamente el Departamento de Pesos y Dimensiones, se ha encargado de cuantificar y regular la carga que pasa por algunos corredores viales principales. Con ayuda de la base de datos de las estaciones de pesaje suministrada por este Departamento, el LanammeUCR ha analizado esta información para darle seguimiento adecuado a la información de cargas para la formulación de modelos y su inclusión como parámetro de entrada en los procedimientos de diseño estructural de pavimentos. De esta manera ha sido posible analizar estadísticamente hasta la fecha los datos de más de 3,300,000 vehículos que fueron controlados en las estaciones de pesaje durante el periodo comprendido entre noviembre del 2008 y octubre del 2010. De estos análisis se analizó la representatividad o variabilidad en los resultados obtenidos entre una encuesta versus los resultados obtenidos del control estricto de pesos de todos los vehículos de carga. Por otro lado, con esta información se estableció cuál sería la carga de diseño más representativa para las condiciones de tránsito. Así como cuáles son los vehículos de carga más importantes para el tráfico de mercancías.

Abstract

For structural design of pavements, traffic loading and climate are the main factors that determine the pavement thickness and material properties. In Costa Rica, historically, the AASHTO 86-93 Design Guide Methodology has been accepted as a valid methodology for pavement design. It is necessary to quantify the loading parameter for pavement design for major highways in Costa Rica, without extrapolating loads of other regions. Unifying the load parameter can facilitate the design of pavements, for this it is necessary to determine a local representative load, with information from weighing sites under actual load conditions. Since 2008, the government through the MOPT-CONAVI, specifically the Department of Weights and Dimensions, has been commissioned to quantify and regulate the traffic loading through some major highways. Using the database of weighing stations provided by this Department, LanammeUCR has analyzed this information to quantify appropriate loading parameters for the modeling and its inclusion as input parameter in pavement structural design procedures. Thus it has been possible to statistically analyze the data to date more than 3.3 million vehicles at weigh stations during the period between November 2008 and October 2010. From this analysis, representativeness and variability of the data is examined and the results of strict control of weights of all vehicles. Furthermore, with this information, the most representative design traffic load for real traffic conditions. And what are the most important freight trucks for pavement design.

¹ MSc, Ingeniero Civil, Coordinador Unidad de Gestión Municipal– Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de La Universidad de Costa Rica (LanammeUCR)

² Ingeniero Civil, Investigador – Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de La Universidad de Costa Rica (LanammeUCR)

1. Introducción

Desde 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 daño en carreteras y puentes, con la consecuente disminución de la capacidad de carga estructural y por ende reducción de la vida útil (Hernández y Fabela, 2004).

Entre los principales factores que favorecen el daño que sufren las vías de Costa Rica y otros países de la Región Centroamericana, se pueden mencionar los siguientes (Vega y Vives, 2009):

- Diseño de pavimentos (mala estimación del tránsito circulante).
- Deficiente calidad de los materiales (subbase, base y mezcla asfáltica).
- Pobre control de calidad en el desarrollo de la obra.
- Calidad del terreno de sustentación y su heterogeneidad.
- Uso de asfaltos sin considerar el clima (temperatura).
- Ausencia de drenajes y carencia de mantenimiento de los mismos.
- Aumento desmedido de la flota vehicular.
- Falta de control eficaz y eficiente de la carga circulante.

La importancia de establecer y controlar el peso de los vehículos pesados se deriva, entre otros aspectos, del efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos, así como el hecho de 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 la carga.

2. Antecedentes

La Unidad de Investigación en Infraestructura Vial del LanammeUCR, en el 2007 presentó los resultados obtenidos en una encuesta de carga a vehículos de carga y buses, realizada entre el 2005 y 2006 en 8 importantes rutas de Costa Rica, en dicho estudio se determinó que los Factores Camión Típicos empleados para el diseño subestimaba el peso real de los vehículos, puesto que los Factores Camión obtenidos para las mediciones realizadas eran muy superiores, lo cual demostró la necesidad de controlar el peso de los vehículos, para evitar que se acelerara el deterioro de los pavimentos y obras existentes.

En aquel momento se realizó el pesaje empleando balanzas camioneras portátiles, con lo cual fue posible encuestar 5063 vehículos, realizando un pesaje de eje por eje de vehículos que fueron detenidos de manera aleatoria con la ayuda de oficiales de tránsito, lo cual representó un total de 11464 ejes. Para cada uno de los vehículos se le consultó al conductor si el vehículo estaba cargado, así como el tipo de carga que llevaba. Adicionalmente se llevó a cabo un archivo fotográfico de cada uno de los vehículos encuestados.

Consientes de las debilidades existentes en el control de cargas de los vehículos que circulan por las carreteras y a la ausencia de puestos de pesaje en las principales rutas del país, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) iniciaron en noviembre del 2008 la contratación de servicios de pesaje temporal para el control de vehículos de carga en varias rutas nacionales (Ruta 32. Búfalo de Limón, Ruta 2. Ochomogo y Ruta 1. Cañas), con lo cual se pretende evitar fallas prematuras a la vida útil de diseño, debido a cargas de tránsito mayores a las que se prevén en el diseño de la obra.

En Costa Rica, el Reglamento de Circulación por Carretera publicado en el diario oficial La Gaceta No.15 del miércoles 19 de enero del 2005, presenta la configuración de ejes y pesos legales para los diferentes tipos de vehículos que circulan en el país. La finalidad de estas regulaciones y el control efectivo de los vehículos de carga responde a la necesidad de proteger las inversiones cuantiosas que se realizan en carreteras y puentes. El cumplimiento de las leyes y recomendaciones conlleva a proteger las vidas y bienes de los usuarios, beneficia el transporte de mercancías reduciendo los costos de operación y evita un acelerado deterioro de las carreteras, asegurando así costos bajos de conservación; caso contrario la disminución de la vida útil tanto de los vehículos como el deterioro de los pavimentos genera pérdidas al país.

Con ayuda de la base de datos suministrada por el Departamento de Pesos y Dimensiones de las estaciones de pesaje, el LanammeUCR analiza esta información para darle seguimiento adecuado a la información de las cargas que transitan, la formulación de modelos y su inclusión como parámetro de entrada en los procedimientos de diseño estructural de pavimentos. De esta manera ha sido posible analizar estadísticamente hasta la fecha los datos de más de 3,300,000 vehículos que fueron controlados en las estaciones de pesaje durante el periodo comprendido entre noviembre del 2008 y octubre del 2010. De estos análisis se pretende analizar la representatividad o variabilidad en los resultados obtenidos entre una encuesta versus los resultados obtenidos de control estricto de pesos de todos los vehículos de carga. Por otro lado, con esta información se busca establecer cuál sería la carga de diseño más representativa para las condiciones de tránsito. Así como cuáles son los vehículos de carga más importantes para el tráfico de mercancías.

3. Análisis de resultados

3.1 Vehículos de carga representativos y distribución vehicular

Con base en un análisis estadístico de la bases de datos de más de 3,300,000 vehículos de las estaciones de pesaje se determinó que el interés se centra en siete tipos de vehículos de carga: C2, T2-S1, C3, T3-S1, T3-S2, C4, T3-S3, los cuales en conjunto representan el 98.86% de todos los vehículos de carga. Adicionalmente, fue posible establecer que de estos siete tipos de vehículos, los vehículos C2, C3, T3-S2 y T3-S3 representan cerca del 98.32%, por lo que para efectos de análisis se estudiaron solo estos últimos cuatro tipos de vehículos. La configuración y pesos legales regulados por el Reglamento de Circulación por Carretera para estos tipos de vehículos se presentan en la Figura 1, se compara además la normativa costarricense, con la normativa mexicana y la normativa de los Estados Unidos.

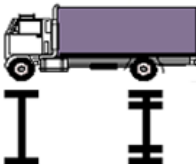

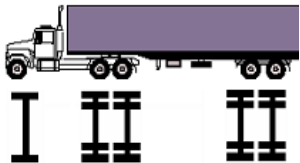
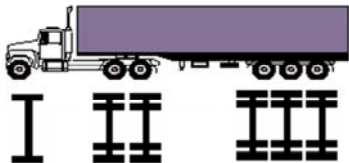
Tipo	Configuración del vehículo y peso por eje (Ton)	PVB (Ton)
C2 Class 5		
Nom 1995	6.5 11	17.5
Nom 2008	6.5 11	17.5
Estados Unidos	5.5 9	14.5
Costa Rica (2005)	6.0 10	16.0
C3 Class 6		
Nom 1995	6.5 19.5	26.0
Nom 2008	6.5 18.0	24.5
Estados Unidos	5.5 15.5	21.0
Costa Rica (2005)	6.0 16.5	22.5
T3-S2 Class 9		
Nom 1995	6.5 19.5 18	44.0
Nom 2008	6.5 18 17	41.5
Estados Unidos	5.5 15.5 15.5	36.5
Costa Rica (2005)	6.0 16.5 16.5	39.0
T3-S3 Class 10		
Nom 1995	6.5 19.5 22.5	48.5
Nom 2008	6.5 18 23.5	48
Estados Unidos	5.5 15.5 19.0	40
Costa Rica (2005)	6.0 16.5 23.0	45.5

Figura 1. Configuraciones y cargas legales de los principales vehículos de carga en Costa Rica

Entre las características de cada una de las rutas en las cuales se encuentran ubicadas las estaciones de pesaje (ver ubicación de las estaciones de pesaje en la Figura 2), se pueden mencionar las siguientes:

- **Ruta 32. Búfalo, provincia de Limón:** Carretera primaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). De gran importancia turística. Ruta empleada para el transporte masivo de productos, al tratarse de una de las rutas con conexión al puerto marítimo del Atlántico, en la provincia de Limón. *Estación 01: Sentido San José - Limón / Estación 02: Sentido Limón - San José.* Ambas estaciones iniciaron labores a partir de noviembre del 2008.
- **Ruta 1. Cañas, provincia de Guanacaste:** Carretera primaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). De importancia turística según el Instituto Costarricense de Turismo, que funciona como conexión con otras rutas nacionales, centros educativos, hospitales, etc. Además, es una ruta empleada para el transporte masivo de productos. *Estación 03: Sentido Cañas – San José.* Inició labores a partir de enero del 2009 y fue cerrada en setiembre del 2009.
- **Ruta 2. Florencio del Castillo, Provincia de Cartago:** Carretera primaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). De importancia turística según el Instituto Costarricense de Turismo, que funciona como conexión con otras rutas nacionales, centros educativos, hospitales, etc. Además, es una ruta empleada para el transporte masivo de productos dentro del Área Metropolitana. *Estación 04: Sentido San José - Cartago / Estación 05: Sentido Cartago - San José.* Ambas estaciones iniciaron labores a partir de enero del 2009.
- **Ruta 2. Villa Briceño, Provincia de Puntarenas:** Carretera primaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). De importancia turística según el Instituto Costarricense de Turismo, que funciona como conexión con otras rutas nacionales, centros educativos, hospitales, etc. Además, es una ruta empleada para el transporte masivo de productos puesto que forma parte de la carretera Interamericana, cerca de la frontera con Panamá. *Estación 06: Sentido Paso Canoas - San José.* La estación inició labores a partir de octubre del 2009.

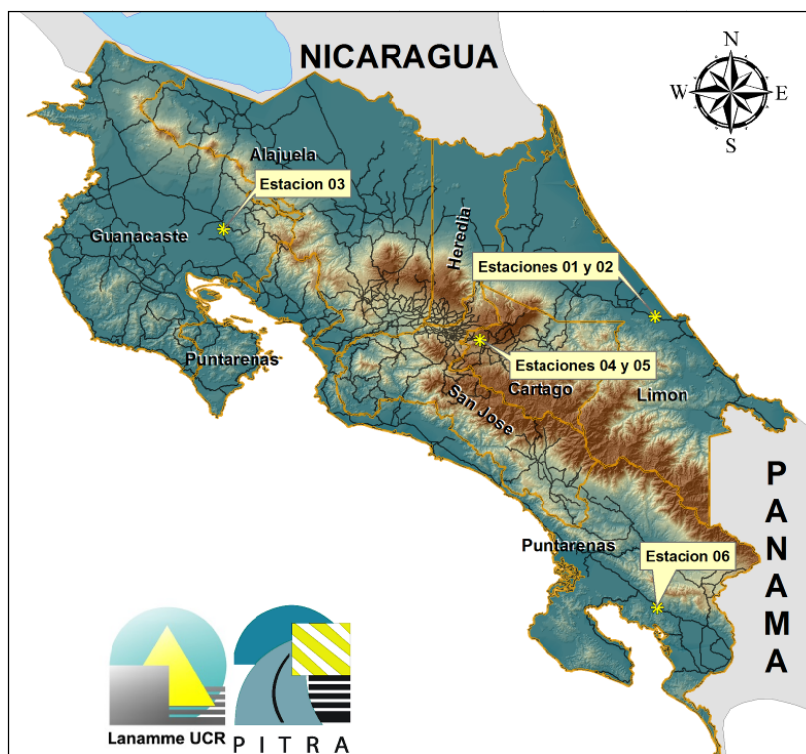


Figura 2. Ubicación de las estaciones de pesaje

En la Tabla 1 y Figura 3 se presenta la distribución porcentual vehicular por tipo de vehículo en cada una de las estaciones de pesaje para los cuatro principales tipos de vehículos C2, C3, T3-S2 y T3-S3 considerados en el estudio durante el periodo comprendido entre noviembre del 2008 y octubre del 2010. Tanto el promedio y la desviación estándar

que se presentan en la tabla anterior se calculan respecto a las variaciones en la distribución de los valores mensuales reportados para cada estación.

Tabla 1: Distribución porcentual por tipo de vehículo en las estaciones de pesaje

Tipo de Vehículo	Parámetro	Estación 1 San José – Limón	Estación 2 Limón – San José	Estación 3 Cañas – San José	Estación 4 San José – Cartago	Estación 5 Cartago – San José	Estación 6 Paso Canoas – San José
C2	Promedio	13.68	13.31	26.28	65.74	60.57	40.92
	<i>Desv. Std</i>	1.19	1.41	2.94	3.09	2.48	3.55
C3	Promedio	2.59	2.89	7.16	8.78	9.73	6.58
	<i>Desv. Std</i>	0.46	1.17	1.44	1.57	0.91	1.14
T3-S2	Promedio	70.76	75.20	59.99	20.30	22.78	45.95
	<i>Desv. Std</i>	3.92	2.17	4.07	2.14	2.74	3.27
T3-S3	Promedio	10.21	8.30	6.04	4.05	4.45	6.09
	<i>Desv. Std</i>	3.13	1.91	0.50	0.29	0.55	1.65
Total		97.2	99.7	99.5	98.9	97.5	99.5

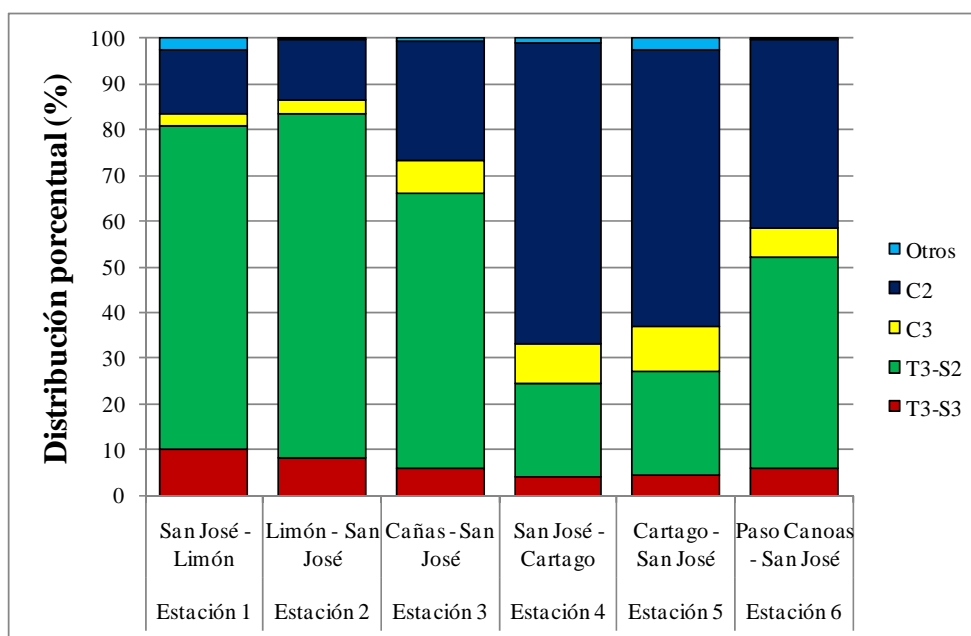


Figura 3. Distribución porcentual por tipo de vehículo en las estaciones de pesaje

Puede notarse claramente, que la distribución varía conforme a la ubicación de la estación. En Costa Rica los puertos marítimos para el trasiego de mercancía tienen como principales rutas de acceso la Ruta 32 (Puerto de Moín y Limón) y la Ruta 1 (Puerto de Caldera, además de formar parte de la ruta Interamericana). Al observar la Tabla 1, según el tipo de vehículo, se puede notar que la mayoría de los vehículos aforados son los vehículos clasificados como T3-S2 para las estaciones de pesaje móvil 01, 02, 03 y 06, donde la distribución porcentual para este tipo de vehículo es 70.76%, 75.20%, 59.99% y 45.95%, respectivamente. De esta manera se tiene que los vehículos T3-S2 corresponden a los vehículos más comunes para el transporte de mercancías. Por su parte, en las estaciones 04 y 05, los vehículos clasificados como C2 son los que se presentan en mayor cantidad (65.74% y 60.57%, respectivamente), esto se explica por la mayor facilidad de movilización de mercancías o productos a menor escala dentro de las rutas de la región urbana del Área Metropolitana. De esta manera, la composición vehicular varía en cada zona, lo cual permite demostrar que dependiendo de la productividad y del uso de suelo de la zona se definirá la cantidad y el tipo de vehículo que se utilizará para el transporte de productos, aspecto de enorme importancia que debe considerarse a la hora de realizar el diseño del pavimento y así soportar la sollicitación de cargas reales, con la frecuencia y composición vehicular específica del proyecto.

3.2. Espectros de Carga

La caracterización adecuada del tránsito vehicular es fundamental para poder concebir estructuras de pavimento que sean capaces de ofrecer altos desempeños en términos de durabilidad. La nueva Guía de Diseño de Pavimentos Mecánico-Empírico elimina el uso de Ejes Equivalentes (ESALs) y propone una mejor caracterización del tránsito vehicular en términos de lo que denomina **espectros de carga** de cada uno de los diferentes tipos de ejes, para fines de diseño, rehabilitación, modernización, reconstrucción, preservación y operación de carreteras.

Los espectros de carga se calculan usualmente para cada tipo de eje: eje sencillo, eje dual, eje tándem y eje trídem. Y se define como la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje.

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 el 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 carga.
- Los valores máximos **permiten identificar los niveles de carga más usuales**; niveles que se pueden asociar con vehículos que circulan vacíos o con carga completa.
- Permite identificar las carreteras donde los niveles de carga exceden el reglamento y en qué porcentaje
- Se pueden asociar comportamientos del tránsito de vehículos de carga similares y establecer espectros regionales.
- Permiten **diseñar y revisar la capacidad estructural** de un pavimento con datos realmente representativos de una red de carreteras.

De esta manera, con base en la información mensual reportada para cada una de las estaciones de pesaje, se procedió de la siguiente manera:

Paso 1. Los datos de los vehículos pesados fueron clasificados conforme a un tipo de vehículo específico. En el caso de Costa Rica se identificaron siete tipos de vehículos de carga: C2, T2-S1, C3, T3-S1, T3-S2, C4 y T3-S3.

Paso 2. Para cada uno de los ejes de cada tipo de vehículo se determinó la cantidad de ejes que se encontraba dentro de diferentes rangos de carga, entre los 0 y 32000 kg, con intervalos de 500 kg

Paso 3. Se calculó la frecuencia en porcentaje de la cantidad de ejes presentes dentro de cada uno de los intervalos de carga.

Paso 4. Se graficaron los espectros de carga por tipo de eje y por tipo de vehículo para cada uno de los meses en los cuales se realizó el estudio. Para efectos del presente artículo se muestra en la figura 5 los espectros de carga por tipo eje para cada una de las estaciones de pesaje para todo el periodo de análisis. En estas mismas gráficas se indica la distribución porcentual de cada uno de los diferentes tipos de ejes analizados, así como la carga máxima legal para cada tipo eje. Además, se generaron gráficos similares por tipo vehículo para cada uno de los meses en cada una de las estaciones de pesaje.

En términos generales, se puede observar en la figura 4 como el espectro de carga y la distribución de cargas varía de manera considerable dependiendo de la ubicación de la estación de pesaje. Esto puede observarse en la forma y magnitud de las curvas de los espectros graficados, donde los espectros de carga para las Estaciones 01 y 02 (ubicadas en la provincia de Limón), son muy distintos a los espectros de carga de las estaciones 04 y 05 ubicados dentro de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

Más aún, se puede observar variaciones en los espectros de carga dependiendo del sentido de circulación. Como ejemplo, se puede analizar los espectros de las estaciones 01 y 02. En el caso de la Estación 01 donde los vehículos circulan en el sentido San José – Limón, aproximadamente el 13% de los ejes tándem circulan con una carga que oscila entre los 15000 y 15500 kg. Por su parte, en el caso de la Estación 02 donde los vehículos circulan en el sentido Limón –San José, solamente un 3.6%, aproximadamente, de los ejes tándem circulan con una carga que oscila entre los 15000 y 15500 kg, presentando frecuencias mayores para los ejes tándem con el rango de cargas entre los 4000 y 8000 kg. Análisis de este tipo permiten identificar los niveles de carga más usuales y concluir, además, que los vehículos que circulan en sentido San José – Limón, son vehículos que en términos generales viajan cargados; y que luego, estos mismos vehículos regresan descargados hacia San José. De esta manera es posible establecer consideraciones importantes que deberán ser tomadas en cuenta en el diseño estructural de pavimentos con la finalidad de no sobredimensionar o subdimensionar la carretera.

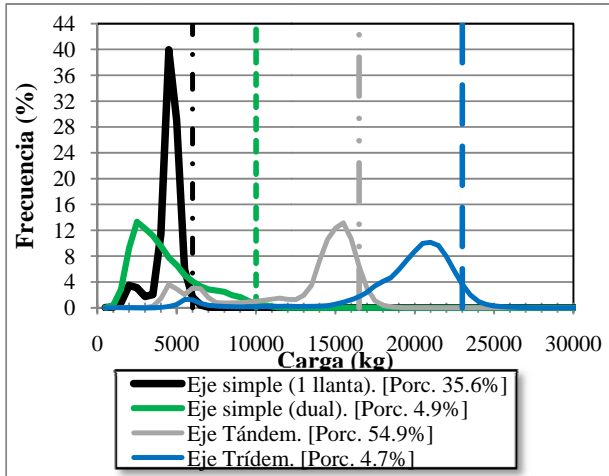


Figura 4a. Espectro de carga para la Estación 01:
San José – Limón

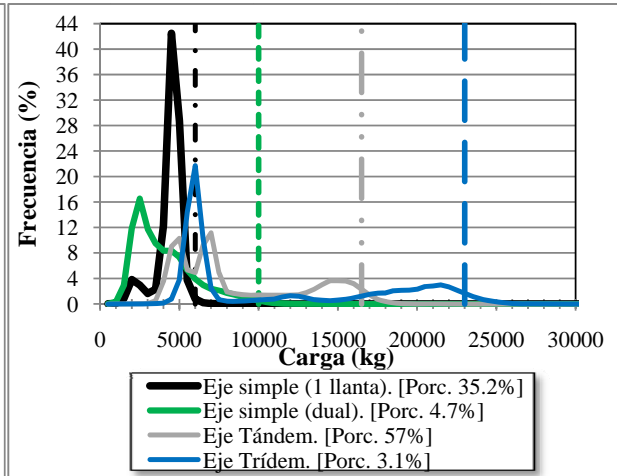


Figura 4b. Espectro de carga para la Estación 02:
Limón – San José

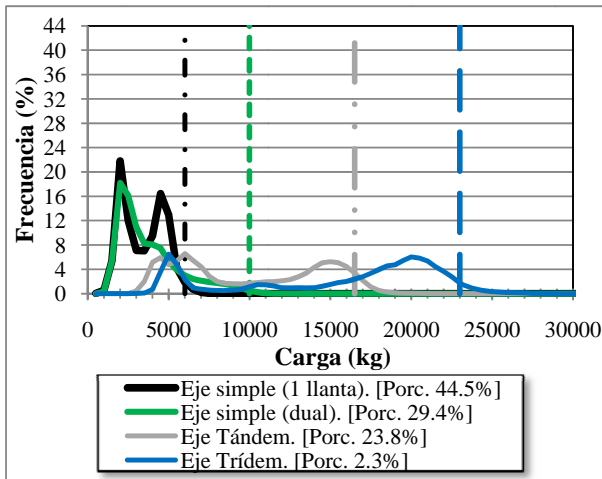


Figura 4c. Espectro de carga para la Estación 04:
San José – Cartago

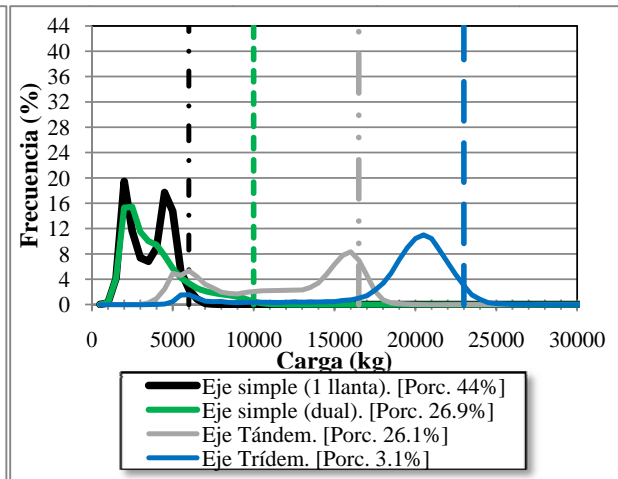


Figura 4d. Espectro de carga para la Estación 05:
Cartago – San José

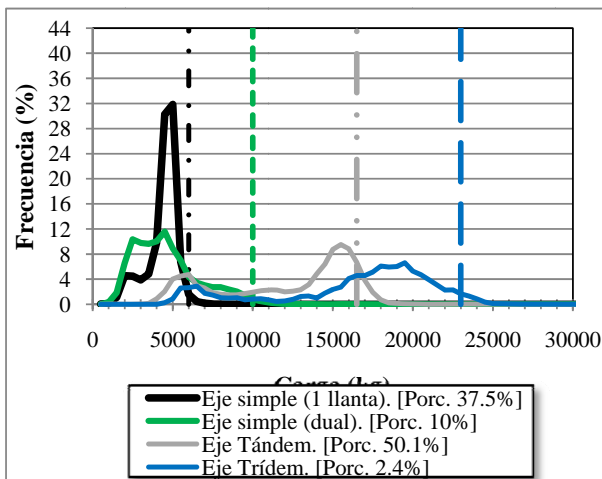


Figura 4e. Espectro de carga para la Estación 03:
Cañas – San José

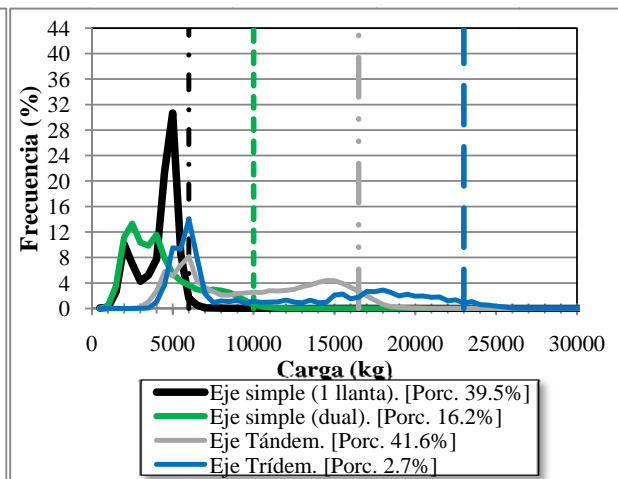


Figura 4f. Espectro de carga para la Estación 06:
Paso Canoas – San José

3.3. Determinación de Cargas de Diseño

La carga de diseño es una de las variables de mayor importancia para calcular los espesores de los pavimentos. El tránsito que soportará la vía durante el periodo para el cual se ha dimensionado es siempre difícil de prever, motivo por el cual se recomienda disponer de estaciones de pesaje que mantengan la información de las cargas.

En el caso de Colombia, Lizcano (2003) establece que las estructuras de pavimentos propuestas deben estar previstas para soportar el eje simple estándar de 130KN (aproximadamente 13000 kg) de referencia y un porcentaje de sobrecarga que no exceda el 10%.

La determinación de esta carga de diseño para el caso de colombiano puede que no sea representativa de las condiciones locales de Costa Rica, por lo que una vez que se tienen estos espectros de carga, se procede a analizar el comportamiento estadístico de los espectros. En este sentido, para cada uno de los espectros de carga se calculó la frecuencia acumulada de los diferentes rangos de carga, de estos datos se determina el rango de carga correspondiente al percentil 90. De esta manera se busca establecer una Carga de Diseño representativa de los pesos de los vehículos que circulan por esa carretera, de forma tal que el 90% de los datos de los pesos de los vehículos sean menores o iguales al valor de la Carga de Diseño, esto para evitar extrapolar coeficientes de daño por sobre cargas. El valor obtenido de esta manera representará la Carga de Diseño de Referencia para los cálculos de diseño posteriores.

Paralelamente, para los cuatro principales tipos de vehículos C2, C3, T3-S2 y T3-S3 considerados en el estudio, se verificó el cumplimiento de la normativa existente en Costa Rica para los diferentes tipos de ejes, y se determinó la cantidad de ejes, en porcentaje, que exceden dicha normativa, nuevamente los cálculos se hicieron para cada uno de los meses y para cada una de las estaciones de pesaje. En la tabla 2, se presentan los resultados correspondientes al rango de carga del percentil 90, así como el porcentaje promedio y la desviación estándar de ejes que exceden la normativa para cada tipo de eje, tipo de vehículo, para cada una de las estaciones de pesaje y para cada uno de los meses, del periodo de análisis.

Tabla 2. Rango de carga (en Kilogramos) del Percentil 90 y porcentaje de vehículos promedio que excede la normativa nacional

Tipo de Vehículo	Tipo de eje	Parámetro	Estación 1 <i>San José - Limón</i>	Estación 2 <i>Limón - San José</i>	Estación 3 <i>Cañas - San José</i>	Estación 4 <i>San José - Cartago</i>	Estación 5 <i>Cartago - San José</i>	Estación 6 <i>Paso Canoas - San José</i>
C2	Eje Simple	<i>Rango de carga</i>	4000-4500	3500-4000	4000-4500	4000-4500	4000-4500	4500-5000
		<i>% Exc. Prom.</i>	0.15	0.08	0.13	0.08	0.08	0.11
		<i>Desv. Std</i>	0.15	0.12	0.13	0.13	0.07	0.10
	Eje Dual	<i>Rango de carga</i>	7000-7500	6500-7000	7500-8000	6500-7000	6000-6500	7000-7500
		<i>% Exc. Prom.</i>	0.77	0.67	1.12	0.48	0.37	0.57
		<i>Desv. Std</i>	0.52	0.50	0.57	0.44	0.28	0.37
C3	Eje Simple	<i>Rango de carga</i>	5500-6000	5500-6000	5500-6000	5500-6000	5500-6000	5500-6000
		<i>% Exc. Prom.</i>	3.41	1.71	2.63	2.94	1.77	1.62
		<i>Desv. Std</i>	2.15	2.27	1.74	2.34	1.44	1.15
	Eje Tandem	<i>Rango de carga</i>	15500-16000	14000-14500	15000-15500	15500-16000	16000-16500	13500-14000
		<i>% Exc. Prom.</i>	2.47	1.54	2.72	4.33	4.51	3.39
		<i>Desv. Std</i>	1.25	0.99	3.36	2.92	2.30	2.08
T3-S2	Eje Simple	<i>Rango de carga</i>	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000	4500-5000	5000-5500
		<i>% Exc. Prom.</i>	0.05	0.01	0.04	0.04	0.11	0.05
		<i>Desv. Std</i>	0.03	0.01	0.03	0.04	0.08	0.11
	Eje Tandem	<i>Rango de carga</i>	15500-16000	15000-15500	16000-16500	15500-16000	16000-16500	15500-16000
		<i>% Exc. Prom.</i>	3.89	2.42	6.25	3.92	7.76	4.14
		<i>Desv. Std</i>	2.13	0.85	5.25	2.14	2.31	1.57
T3-S3	Eje Simple	<i>Rango de carga</i>	5000-5500	4500-5000	5000-5500	4500-5000	5000-5500	5000-5500
		<i>% Exc. Prom.</i>	0.09	0.04	0.17	0.10	0.21	0.10
		<i>Desv. Std</i>	0.09	0.04	0.24	0.09	0.15	0.16
	Eje Tandem	<i>Rango de carga</i>	16500-17000	16500-17000	16500-17000	16500-17000	16500-17000	16500-17000
		<i>% Exc. Prom.</i>	17.64	11.09	18.52	15.20	20.24	15.95
		<i>Desv. Std</i>	3.31	3.27	7.36	5.47	4.26	8.52
	Eje Tridem	<i>Rango de carga</i>	22500-23000	21500-22000	20500-21000	21500-22000	21500-22000	19500-20000
		<i>% Exc. Prom.</i>	4.12	3.58	2.76	3.32	2.47	2.51
		<i>Desv. Std</i>	3.65	2.00	4.44	4.70	1.93	2.72

Como se puede observar en la tabla 2, el percentil 90 de los rangos de carga para todas las estaciones, en el caso de los ejes simples oscila entre los 3500-6000kg, por su parte para los ejes duales el rango se encuentra entre 6500-8000kg; para los ejes tándem el rango de carga varía entre los 13500-17000kg y para los ejes tridem las variaciones están los 19500-23000kg. Cuando se comparan estos valores con los valores de referencia dados por la Guía de Diseño AASHTO 1993,

donde se tiene que para el eje simple el valor de referencia es de 8200kg, para el eje tándem 15200kg y el eje trídem 22000kg. Se puede concluir que para el caso de Costa Rica, y para las condiciones de tráfico actual, que no sería necesario aún, cambiar las cargas de referencia de la Guía AASHTO 1993 para el eventual cálculo de factores camión o factores de equivalencia de daño, utilizados en el diseño estructural de pavimentos.

Otro de los parámetros que debe ser considerado en la definición de las cargas de diseño, se relaciona con la variación temporal que pueden tener las cargas de los vehículos. Esta variación puede responder principalmente a dos factores: el primero está relacionado con el uso de suelo, el cual puede estar relacionado con temporadas de producción de materiales primas, productos agrícolas, o bien importaciones o exportaciones. Y un segundo factor puede estar relacionado con la aplicación de mecanismos de verificación de cumplimiento de reglamentos. Este último factor es el que predomina actualmente en Costa Rica, donde aún se encuentra en un proceso de “culturalización” de la normativa vigente por lo que en este momento sería prematuro determinar la variación temporal de las cargas relacionada con la producción o uso de suelo. Así pues y conforme se siga monitoreado la información generada será posible determinar esta variación en un futuro cercano.

En la Figura 5 se puede observar la variación en el tiempo del porcentaje de vehículos que excede la regulación respecto a los límites establecidos por tipo de eje y tipo de vehículo para los datos de todas las estaciones de pesaje estudiadas.

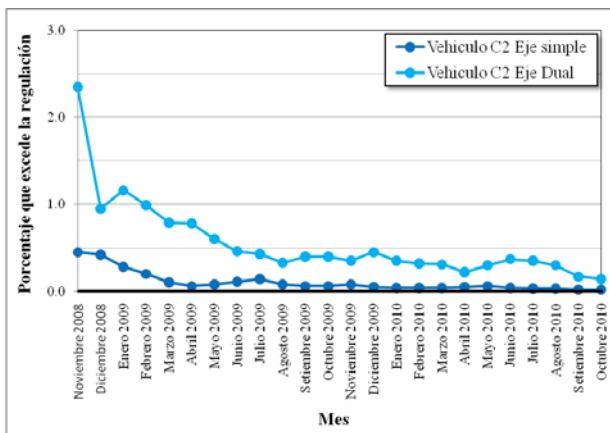


Figura 5a. Variación en el tiempo del porcentaje de vehículos C2 que excede la regulación por tipo de eje

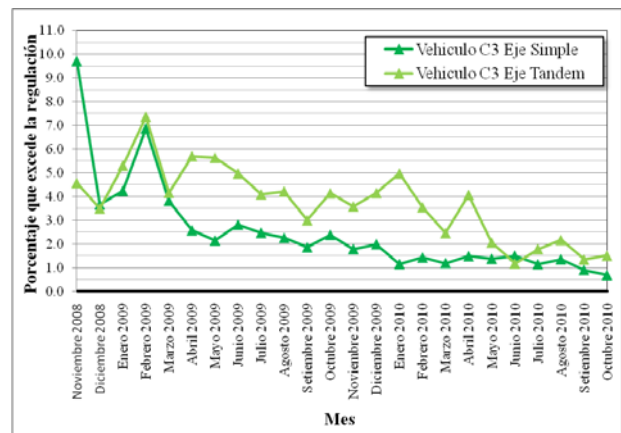


Figura 5b. Variación en el tiempo del porcentaje de vehículos C3 que excede la regulación por tipo de eje

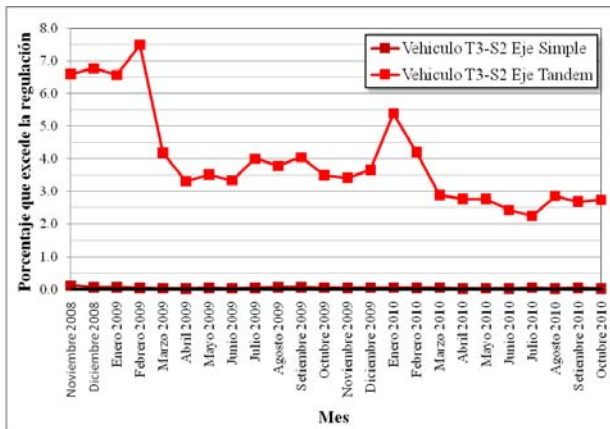


Figura 5c. Variación en el tiempo del porcentaje de vehículos T3-S2 que excede la regulación por tipo de eje

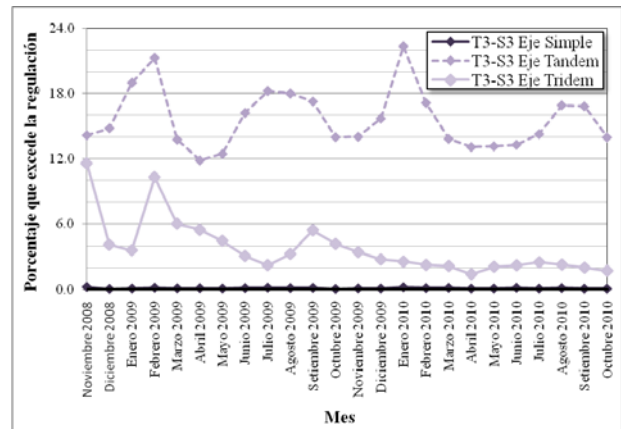


Figura 5d. Variación en el tiempo del porcentaje de vehículos T3-S3 que excede la regulación por tipo de eje

Cuando se analiza la variación en el tiempo del porcentaje de vehículos que excede la regulación, se puede notar que en el momento en que se inicia el Control de Pesaje, es de esperar que se presente un alto porcentaje de incumplimiento de la reglamentación existente. Una vez, que los transportistas van tomando conciencia del control de pesos en sus vehículos, los porcentajes de incumplimiento se van reduciendo sucesivamente hasta llegar a estabilizarse a un valor que trata de optimizar el peso máximo que pueden transportar sin exceder la reglamentación existente. Un aspecto que debe llamar la atención es lo referente a los vehículos con configuración T3-S3, en el que los ejes Trídem disminuyen sucesivamente el porcentaje de vehículos que excede la regulación, hasta alcanzar valores cercanos al 2%. Sin embargo, no sucede lo mismo con el eje Tándem de este mismo vehículo, donde el porcentaje de incumplimiento sigue teniendo valores que superan el 12%, lo cual podría deberse a una inadecuada distribución del peso o carga dentro del vehículo, posiblemente a inexperiencia de los que estiban los productos.

3.4. Comparación de espectros de carga

Con la finalidad de demostrar y verificar la importancia que tiene la selección de una muestra con una cantidad suficiente de datos para obtener conclusiones representativas de la variable tránsito. Se procedió a comparar los espectros de carga obtenidos de una muestra mediante una encuesta de carga versus el espectro de carga obtenido por el control de pesaje, el cual se supone representa a la población total de los vehículos de carga que circula por esa ruta. En la Figura 6 se presenta los espectros de carga para ambas condiciones para dos rutas nacionales: Braulio Carillo y la Florencio del Castillo. Por su parte en la Tabla 3 se presenta la distribución vehicular de los vehículos considerados para los gráficos mostrados.

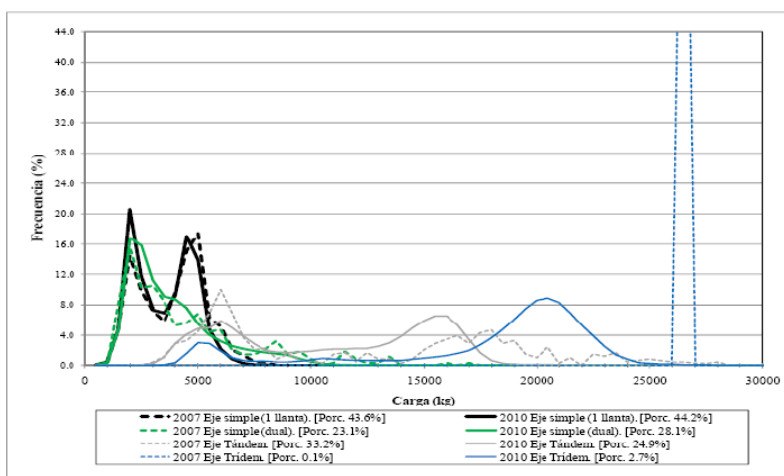


Figura 6a. Comparación de espectros de carga para la Autopista Florencio del Castillo

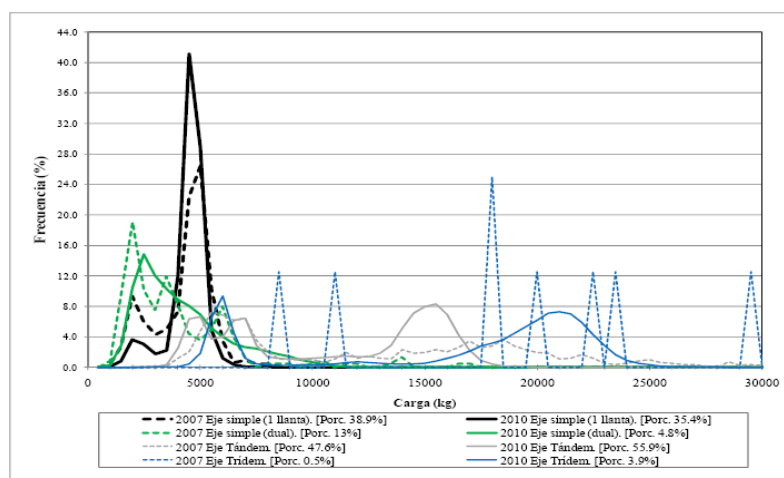


Figura 6b. Comparación de espectros de carga para la Carretera Braulio Carrillo

Como se puede observar en la figura 6, existen diferencias importantes en los espectros de carga generados mediante una encuesta versus los espectros de carga que se puede obtener la medición completa de los vehículos. Entre las diferencias se puede observar en la figura 6a para la Autopista Florencio del Castillo, como las líneas punteadas (valores provenientes de una encuesta) difieren de manera considerable con las líneas continuas (valores de las estaciones de pesaje). Aquí, los valores de las estaciones de pesaje muestran un comportamiento bimodal en el caso de los ejes tándem y trídem, el cual corresponde al comportamiento teórico esperado para el transporte de cargas, situación que no se ve reflejada de la misma manera en los datos de la encuesta de carga.

Tabla 3. Cantidad de vehículos considerados para la elaboración de los espectros de carga de la figura 6.

Año y ruta de medición	Tipo de vehículo			
	C2	C3	T3-S2	T3-S3
2007 Braulio Carrillo	226	72	376	8
2010 Braulio Carrillo	203.660	41.480	1.105.667	142.881
2007 Florencio del Castillo	341	115	188	1
2007 Florencio del Castillo	1.032.101	151.210	348.748	69.832

Otro aspecto interesante se relaciona con los ejes trídem de los vehículos T3-S3, donde la cantidad de ejes es bastante pequeña en comparación a la cantidad total de ejes de todos los vehículos (inferior al 3%). Lo que puede generar, en los muestreos aleatorios, una recolección de una muestra poco significativa del comportamiento de este tipo de vehículo y por lo tanto conclusiones erróneas de los resultados obtenidos, tal y como se observa en la figura 6b de la carretera Braulio Carrillo, donde cada uno de los picos de la línea punteada de datos de la encuesta difieren considerablemente de los resultados o espectro obtenido de las estaciones de pesaje.

De esta forma, se observa de manera preliminar la importancia que tiene el tamaño de la muestra en la medición de las cargas de tránsito, y de la importancia que tiene la estimación de espectros de carga con muestras suficientemente grandes y representativas del tránsito. Es claro, que esta última condición es deseable en el diseño de pavimentos, sin embargo, muchas veces no es posible lograrla en países como Costa Rica donde los recursos son limitados, aún así los resultados obtenidos y los análisis que se vienen realizando en el país con la información disponible permitirá determinar de una manera más adecuada las cargas de tránsito, frecuencia y distribución a utilizarse en una eventual guía de diseño estructural de pavimento.

4. Conclusiones

Se puede notar las diferencias que existen entre los espectros de carga de una zona a otra, principalmente entre las rutas de la GAM hacia los puertos marítimos y las rutas de menor trasiego de mercancías.

Para las condiciones de tráfico actual de Costa Rica, los resultados sugieren que aún no es necesario cambiar las cargas de referencia de la Guía AASHTO 1993 para el eventual cálculo de factores camión o factores de equivalencia de daño, utilizados en el diseño estructural de pavimentos.

Otra observación importante, se da cuando se analiza la variación en el tiempo de los porcentajes de incumplimiento debido a sobrecargas, los cuales en los primeros meses presenta valores altos, producto de que se da un alto porcentaje de incumplimiento de la reglamentación existente. Una vez, que los transportistas van tomando conciencia del control de pesos en sus vehículos, los valores de los porcentajes de incumplimiento se van reduciendo sucesivamente hasta llegar a estabilizarse a un valor que optimiza el peso máximo que pueden transportar sin exceder la reglamentación existente.

Sin embargo, en las rutas en las cuales no se ha implantado el control de pesos es muy posible que los porcentajes de incumplimiento sean mayores, por lo que la carga o peso estimada para efectos de diseño estructural de pavimentos se puede estar subestimando y podría explicarse en gran medida una de las posibles razones por las que los pavimentos fallan en forma prematura y que en su mayoría no cumplan la vida útil para la cual fueron diseñados.

Se demuestra, además, la enorme importancia de controlar las cargas de los vehículos, ya que se observan las importantes reducciones en los porcentajes de incumplimiento debido al control de pesaje, lo que permite que la vida útil de los pavimentos pueda extenderse aún más en comparación con los diseños que actualmente se hacen y evitar así que al poco tiempo se tengan que realizar intervenciones y hasta inclusive reconstrucciones totales.

En el ámbito financiero se hace insostenible para un país en vías de desarrollo construir obras de infraestructura vial que requieren una fuerte inversión de recursos y que al cabo de unos pocos años se tengan que rehabilitar o reconstruir, produciendo un alto costo de operación y comprometiendo la seguridad de los usuarios y el bienestar del país.

Paralelamente a la reducción de sobrepesos en los vehículos, se da un proceso de la inserción de nuevos tipos de vehículos, o bien el uso de vehículos de mayor capacidad de acarreo, para poder incrementar el transporte de carga. Sin embargo, debe tenerse cuidado con la distribución o estibación de la carga dentro del vehículo, de manera tal que todos los ejes cumplan con las regulaciones, y que no suceda como en el caso de los vehículos T3-S2 donde el eje Tándem sigue teniendo valores que superan el 12% de incumplimiento.

De esta manera, los análisis efectuados a la fecha muestran efectos muy positivos en la reducción de las sobrecargas, lo cual representa un paso muy importante, en beneficio de nuestros pavimentos carreteras y cuyos controles debería ser aplicados a otras rutas nacionales.

Nuevamente, los resultados obtenidos hasta el momento serán aplicables siempre y cuando se garantice adecuadamente un control de pesos, y en particular para los puntos estudiados, puesto que cada zona tiene sus características muy particulares, tanto de tránsito, uso del suelo, urbanidad, cargas por eje, entre otros, que deben tomarse en cuenta a la hora de extrapolar los valores de una zona específica a puntos cercanos.

Es necesario hacer hincapié en que el ingeniero diseñador debe tomar en cuenta la importancia de cada proyecto en particular, esto para determinar si es indispensable realizar un estudio específico para la ruta a rehabilitar o construir. Por ende según el tipo de proyecto, el uso del suelo y las características propias del tráfico será necesario desarrollar encuestas de carga y conteos vehiculares para conocer el daño relativo real que se le transmitirá a la infraestructura vial a construir.

A partir de estos resultados, se generan diversas herramientas e insumos fundamentales para formular y aplicar nuevos parámetros a una eventual “Guía de diseño de pavimentos de Costa Rica”, necesarios para reorientar al país con una visión especializada en el incremento significativo de la calidad de las obras de infraestructura vial.

5. Recomendaciones

Es de gran utilidad ampliar la presente investigación y evaluar las cargas que actualmente se transportan en los autobuses, ya que este tipo de vehículo no está siendo controlado en las estaciones de pesaje temporal, con el objetivo de evitar molestias a los usuarios; sin embargo, en el estudio realizado en el 2007 se observó un alto porcentaje de incumplimiento de la reglamentación vigente y por lo tanto factores camión muy elevados, lo cual requiere prestarle la atención adecuada y tomar las medidas pertinentes.

La investigación no se centra en determinar si existe sobre peso en los vehículos o no, ni en qué magnitud o proporción de la totalidad de la flota vehicular representa este sobrepeso en cada zona; sin embargo, estos datos son una llamada de atención para otras entidades de las instituciones del estado para entender y atender los resultados de factor camión y el espectro de carga que deben considerarse en el diseño estructural de pavimentos.

Finalmente, se debe analizar las cargas estudiadas en función de las cargas máximas admisibles para estructuras como puentes, en donde se compromete no solo la inversión de recursos, sino que también se evidencia el riesgo de que se produzca una fatalidad por el derrumbe de estas obras de enorme trascendencia para el país.

6. Referencias

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Guide for Design of Pavement Structures*, Apéndice D, Washington, D.C 1993.
- BADILLA, G.; ALLEN, J.; ULLOA, A.; SIBAJA, D. *Encuesta de Carga: Determinación de Factores Camión en pavimentos de Costa Rica*. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. LanammeUCR. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 2007.
- BADILLA, G.; MOLINA, D. *Incidencia de las estaciones de pesaje móvil en los Factores Camión en en pavimentos de Costa Rica*. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. LanammeUCR. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 2009.
- DIARIO OFICIAL DE COSTA RICA. *Reglamento de circulación con base en Peso y Dimensiones*. La Gaceta No. 13, miércoles 19 de enero del 2005.
- HERNÁNDEZ, J.; FABELA, M. *Diseño y construcción de un prototipo para determinar el peso de vehículos ligeros en movimiento*. Publicación Técnica No. 247. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México. 2004.
- GARCÍA, M. *Variable Tránsito Colombiana para el Diseño de Pavimentos según AASHTO 2002*. Pontificia Universidad Javeriana, Epiciclos, Colombia 2002.
- LIZCANO, F. *Diseño racional de pavimentos*. 1ª edición. Centro Editorial Javeriano CEJA. Bogotá. Colombia. 2003.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH BOARD. *Mechanistic-Empirical Design of New and rehabilitated pavement structures*. NCHRP Report 1-37A. National Research Council, Illinois, 2004.
- VEGA, L.; VIVES J. *Beneficios para la Red Vial Primaria de Costa Rica mediante el uso de un sistema eficiente de control de carga*. IV Congreso Centroamericano de Fondos Viales. San José, Costa Rica. 2009.