

Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica

Ing. Álvaro Ulloa
University of Nevada Reno
ulloaa@unr.nevada.edu

Ing. Gustavo Badilla
LanammeUCR
gbadilla@lanamme.ucr.ac.cr

Ing. Jaime Allen, MSc.
Universidad de California, Berkeley
allenjaime@berkeley.edu
Denia Sibaja Obando
LanammeUCR
dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 01 de noviembre del 2007

Fecha de aprobación: 27 de noviembre del 2007

Resumen

En Costa Rica muchas capas bituminosas de rodadura fallan por las solicitaciones impuestas por los vehículos.

Este trabajo presenta los resultados de la determinación de los Factores Camión en 8 importantes rutas de Costa Rica. La investigación está basada en el análisis de los datos de carga de vehículos y clasificaciones vehiculares.

Como conclusiones generales, el estudio confirma que los Factores Camión Típicos utilizados en Costa Rica subestiman las cargas reales de los vehículos. Además, confirma la necesidad de Controlar el Peso de los vehículos.

Palabras clave: Factor camión, clasificación vehicular, ejes equivalentes de diseño, tránsito promedio diario, diseño de pavimentos.

Abstract

In Costa Rica, many bituminous layers in pavements fail for damage caused by vehicle loads.

This article presents the Truck Factors Determination in eight of the main routes in Costa Rica. It is based on the analysis of vehicle load data and vehicle classifications.

As general conclusions, the study confirms that the Typical Truck Factor used in Costa Rica underestimate the Actual Load of the Vehicles. Also, it confirms that the Vehicle Loads Control is necessary.

Key Words: Truck Factors, Vehicle Classifications, Equivalent Single Axle Loads (ESAL), Annual Average Daily Traffic (AADT), Pavement Design.

1. Introducción

La infraestructura vial de un país constituye un pilar fundamental en el desarrollo económico. Para asegurar el cumplimiento de la vida útil de las vías, diversos entes a nivel mundial, han desarrollado mecanismos para controlar tanto la calidad de los materiales a utilizar como los diseños de la infraestructura. Desde la aparición de la Guía de Diseño de la AASHTO en 1993 (ver Ref. 1) se fijó la necesidad de tomar en cuenta las cargas reales que transitaban sobre los pavimentos.

De aquí en adelante, se hace necesario contar con una encuesta de carga propia de cada país para poder determinar la magnitud de las cargas aplicadas a las estructuras de las carreteras. Para cuantificar este fenómeno, se requiere una serie de datos que se clasifican de acuerdo al nivel de precisión de la información existente, con la finalidad de que el ingeniero pueda estimar las características del tráfico bajo las cuales la carretera va a estar sometida (ver Ref. 2). Los posibles niveles son los siguientes:

Nivel 1: Existe un muy buen conocimiento de las características del tráfico tanto en el pasado como en el futuro. Requiere un registro y análisis histórico del volumen y carga específica de cada zona en particular.

Nivel 2: Existe un conocimiento medio de las características del tráfico tanto en el pasado como en el futuro. Se debe conocer cualquier variación en el volumen y cargas de tráfico a nivel estacional (temporal).

Nivel 3: Existe un conocimiento pobre de las características del tráfico tanto en el pasado como en el futuro. Se tiene muy poca información del volumen y las cargas.

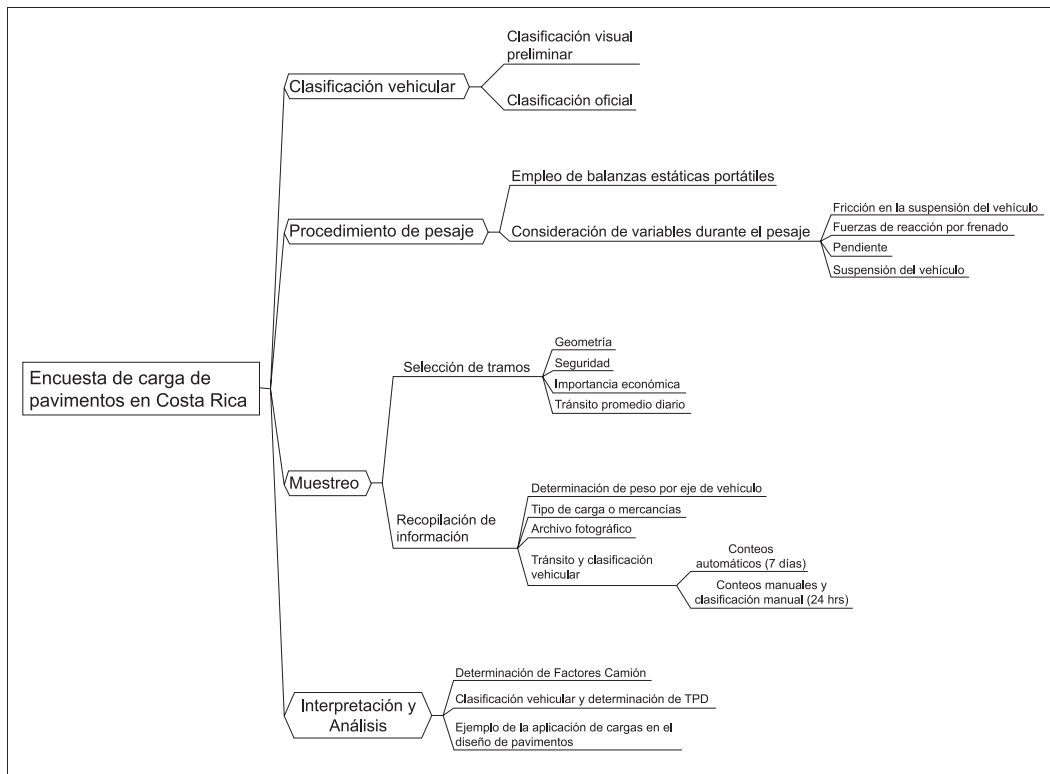
2. Etapas y actividades del proyecto

Para la realización del presente proyecto de investigación se planteó el esquema o diagrama de investigación que se muestra en la figura 1.

2.1 Primera etapa del proyecto

2.1.1 Clasificación vehicular

En esta etapa se recopiló información de distintas fuentes en lo que respecta a las diferentes clasificaciones vehiculares y pesos de los vehículos que circulan en Costa Rica.



2.1.2 Clasificación oficial

La clasificación oficial, que maneja la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT) consiste en lo siguiente:

Liviano: automóviles para personas, jeeps, vans.

Buses: todos los buses que tienen doble llanta en la parte de atrás (hay buses sin doble llanta, se tienen que tomar en cuenta por separado).

Carga liviana: pick-ups, carros acondicionados para cargas pequeñas. Se refiere a la clasificación usada, no necesariamente a vehículos que tienen la placa carga liviana.

2 ejes: incluye todos los camiones con dos ejes, doble llanta en la parte de atrás.

3 ejes: incluye todos los camiones con tres ejes, dos ejes de doble llanta en la parte de atrás.

5 ejes: incluye tractocamiones (furgones), dos parejas de dos ejes con doble llanta.

2.1.3 Reglamento

En el diario oficial de Costa Rica La Gaceta No.15 del miércoles 19 de enero del 2005, se modifica el Reglamento de Circulación por Carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga. A continuación (Tabla 1) se presenta un resumen de la información más importante.

Pesos máximos permitidos en ejes de tránsito según la legislación vigente

Tabla 1

Descripción de eje	Peso máximo en toneladas	Tolerancia báscula en toneladas
Eje simple delantero	6,0	0,5
Eje simple trasero	6,0	0,5
Eje simple dual	10,0	0,5
Eje doble, llanta simple	13,0	0,5
Eje doble, llantas mixtas	15,0	0,5
Eje doble, tándem	16,5	0,5
Eje triple, llantas simples	16,5	0,5
Eje triple, 2D, 1S	20,0	0,5
Eje triple, trídem	23,0	0,5

2.1.4 Clasificación preliminar

Se realizó un muestreo fotográfico en la Ruta Nacional No. 2, en el sector de San Pedro de Montes de Oca. Por medio de este muestreo se obtuvieron las principales clasificaciones consideradas como las más representativas en el país. A continuación se presentan algunas fotografías que ilustran las principales clasificaciones.

Figura 2 Pick-up modificado (liviano)



Figura 3 Camión con eje simple trasero (C2+)



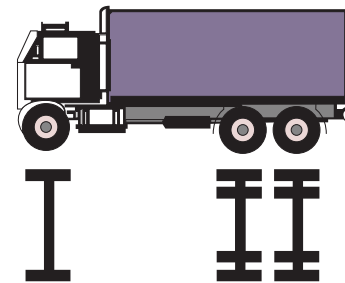
Camión con eje dual trasero (C2)

Figura 4



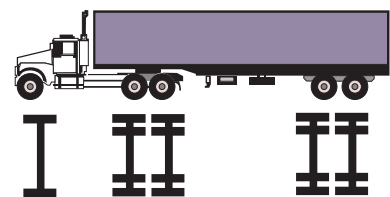
Camión con eje tándem trasero (C3)

Figura 5



Tractocamión con semirremolque (T3-S2)

Figura 6



2.2 Segunda etapa del proyecto

2.2.1 Procedimiento de pesaje

El pesaje de los camiones de dos ejes bajo condiciones controladas en el campo se realizó de acuerdo al esquema que se muestra en la Figura 8.

2.3 Tercera etapa del proyecto

2.3.1 Muestreo

El pesaje de los camiones de dos ejes bajo condiciones controladas de laboratorio se realizó de acuerdo al siguiente esquema:

2.3.1.1 Metodología de muestreo

En términos generales, se realizó el pesaje únicamente de los vehículos acondicionados para llevar carga, es decir, se descartó de los muestreos el pesaje de vehículos livianos, excepto los pick-ups con vagón modificado. El muestreo se realizó un día de cada mes en los ocho puntos de muestreo seleccionado, considerando un sentido de circulación. Al mes siguiente se realizaba el muestreo en el mismo punto, pero se muestreaba el sentido contrario al muestreado anteriormente. Con la finalidad de poder detener los vehículos para realizar el pesaje, fue necesario contar con ayuda de oficiales de tránsito. Una vez que los vehículos se detenían se utilizaron dos balanzas camioneras portátiles calibradas, con una precisión de ± 50 kilogramos. Como se muestra en la Figura 8, el pesaje se realizó pesando las llantas de cada eje al mismo tiempo. Adicionalmente, se recopiló información de los vehículos, determinándose si este iba cargado o no, el tipo de carga y tipo de placa, además se realizó un archivo fotográfico de cada uno de los vehículos sometidos a pesaje.

2.3.1.2 Puntos de muestreo

En la Figura 9 se indican los puntos de muestreo ubicados en la red vial nacional.

En resumen se pueden definir las siguientes características para cada una de las rutas estudiadas:

Ruta 32, Braulio Carrillo (peaje). **Ruta 1, General Cañas (peaje), Naranjo (peaje) y Esparza:** carreteras primarias, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). De gran importancia turística. Ruta empleada para el transporte masivo de productos, al

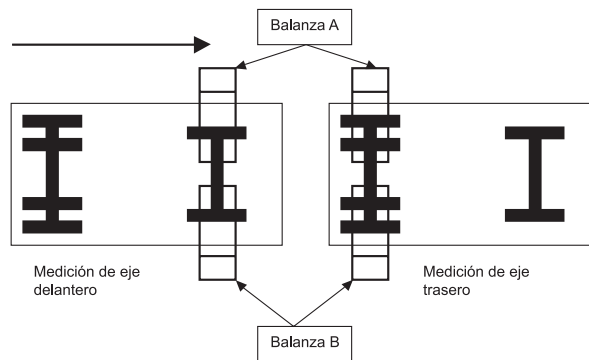
Bus con eje dual trasero (Bus-C2)

Figura 7



Medición

Figura 8



Puntos de muestreo. Mapa elaborado por LanammeUCR

Figura 9

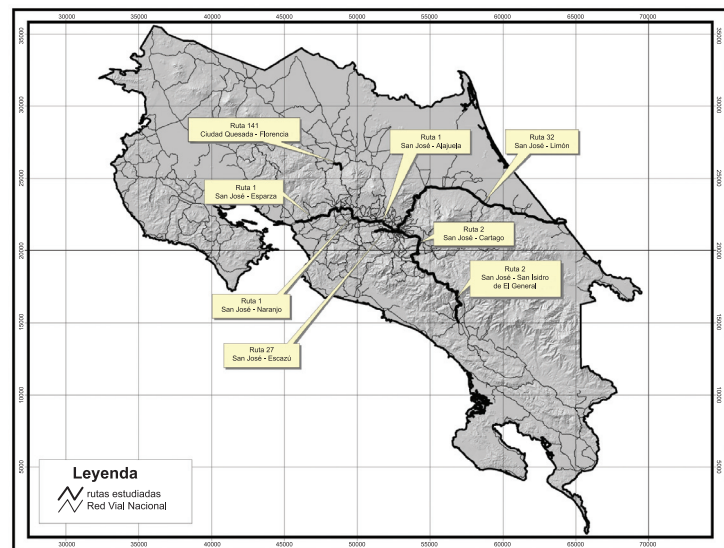


Tabla 2

Frecuencia de vehículos sometidos a pesaje

Tipo de vehículo	Frecuencia
Pick up	215
C2+	417
C2	1998
C3	642
C4	6
Bus C2	446
Bus C2+	2
Bus ejes dobles	2
T3-S2	1283
T3-S2-S2	7
T3-S3	33
T3-S1	5
T2-S2	3
C2-S2	2
C2-R1	1
T3-S1-C1	1
TOTAL	5063
No. Ejes	11464

tratarse de una de las rutas con conexión a alguno de los puertos marítimos.

Ruta 140, San Carlos (Ciudad Quesada – Florencia): carretera secundaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). Sin importancia turística según el Instituto Costarricense de Turismo; pero que funciona como conexión con otras rutas nacionales, centros educativos, hospitales, etc. Además, es una ruta empleada para el transporte masivo de productos.

Ruta 27, Próspero Fernández (peaje). Ruta 2, Florencia del Castillo (peaje), Pérez Zeledón (tránsito): carretera primaria, con un alto nivel de ejes equivalentes promedio diarios anuales (>2000). Sin importancia turística según el Instituto Costarricense de Turismo, que funciona como conexión con otras rutas nacionales, centros educativos, hospitales, etc. Finalmente, se trata de una ruta que permite la salida de dos o más productos, sin ser esta de manera masiva.

Para los tramos estudiados, se realizó un muestreo entre el año 2005 y hasta el año 2006, en el cual se incluyen los siguientes sentidos de muestreo:

- Florencia del Castillo: San José - Cartago, Cartago - San José.

- Próspero Fernández: San José - Escazú, Escazú - San José.
- General Cañas: San José - Alajuela y Alajuela - San José.
- Braulio Carrillo: San José - Limón, Limón - San José.
- Naranjo: Naranjo - San José.
- Esparza: Puntarenas - San José.
- Ciudad Quesada (Florencia): Ciudad Quesada - Florencia, Florencia - Ciudad Quesada.
- Pérez Zeledón: San José - Pérez Zeledón, Pérez Zeledón - San José.

2.3.2 Clasificación de vehículos encuestados

Para efectos de esta investigación se consideraron únicamente los vehículos acondicionados para llevar carga, esto debido a que el diseño estructural de pavimentos se considera principalmente en los vehículos de carga. Las principales clasificaciones son: pick-up modificado, C2+, C2, C3, Bus C2 y T3-S2. Las demás clasificaciones representan menos de 1,5 % de los vehículos pesados encuestados (ver Tabla 2) por lo que se descartan para el análisis del cálculo del factor camión.

3. Interpretación, evaluación y aplicación

3.1 Factores camión

A partir de los datos obtenidos de la encuesta de carga en los 8 puntos de estudio, se procede a dividir el análisis en la obtención de los factores camión para cada zona. Para la obtención del factor camión de las distintas zonas de estudio, se utiliza como base la Guía de diseño AASHTO 1993 (Ref. 1). En donde se utiliza este parámetro de la mano con el tránsito promedio diario (TPD) de la ruta o localidad del proyecto, para diseñar el pavimento de interés.

El factor camión define el daño relativo de la “pasada” de un tipo de eje y carga cualquiera, en relación con el daño que produce un eje simple estándar de 8200 kilogramos.

De esta forma se presenta en la Tabla 3 el resumen que muestra los factores camión según la zona de estudio para los vehículos encuestados.

Es importante comparar los valores obtenidos en la encuesta de carga con los factores camión típicos

Ruta	Vehículo	Factor Camión (TF)					
		Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta 1 - General Cañas (peaje)		0,011	0,019	0,734	2,022	2,721	2,102
Ruta 1 - Bernardo Soto Naranjo (peaje)		0,011	0,016	0,902	3,680	1,971	3,701
Ruta 1 - Bernardo Soto Esparza (peaje)		0,011	0,233	0,723	2,911	2,834	4,153
Ruta 2 - Florencio del Castillo (peaje)		0,015	0,031	0,827	1,437	3,202	3,021
Ruta 2 - Pérez Zeledón (tránsito)		0,012	0,014	0,446	1,858	3,330	2,080
Ruta 27 - Próspero Fernández (peaje)		0,011	0,016	1,163	1,957	3,155	2,695
Ruta 32 - Braulio Carrillo (peaje)		0,011	0,022	0,695	3,692	2,271	4,229
Ruta 140 - San Carlos (Ciudad Quesada)		0,012	0,014	0,521	2,107	3,773	3,861
Promedio		0,012	0,046	0,751	2,458	2,907	3,230
Desviación estándar		0,001	0,076	0,223	0,861	0,585	0,878

Comparación de factores camión típicos y los obtenidos en la encuesta de carga

Tabla 4

Tipo de vehículo	Ontario Canadá		EEUU inter estatal			Costa Rica	Encuesta de carga
	Típico FC	Rango FC	Rural	Urbano	Rango FC	MOPT-CONAVI	Rango FC
Carga liviana (C2+)	-	-	0,003	0,002	0,003 - 0,017	0,39	0,014-0,233
2 Ejes (C2)	0,4	0,05 - 0,9	0,21	0,17	0,19 - 0,41	1,0	0,446 - 1,163
3 Ejes (C3)	0,4	0,05 - 0,9	0,61	0,61	0,45 - 1,26	1,45	1,971 - 3,773
4 Ejes	2,0	0,2 - 4,0	0,62	0,62	0,37 - 0,91	-	-
5 Ejes (T3-S2)	1,2	0,3 - 3,5	1,09	1,05	1,05 - 1,67	2,7	2,102 - 4,229
> 6 Ejes	5,1	2,0 - 6,5	1,23	1,05	1,04 - 2,21	-	-

utilizados en otros países y además los utilizados por el MOPT-CONAVI (ver Tabla 4).

De la tabla 4, se concluye que los factores camión para países desarrollados son muy bajos en comparación con los de Costa Rica, esto se explica básicamente en el estricto control de cargas y el apego a la reglamentación. Además, se observa que, en términos generales, los valores utilizados por el MOPT-CONAVI están muy por debajo de los valores máximos encontrados, principalmente en las rutas hacia los muelles.

3.2 Escenarios de carga

En el cálculo de los ejes equivalentes (ESALs) se parte de tres escenarios distintos con los tipos de vehículos encuestados para el año 2006 (período en que se tienen los datos de TPD y distribución vehicular de todas las rutas, generados a partir de la presente investigación):

- *Escenario 1:* empleando los factores camión

obtenidos con la encuesta de carga

- *Escenario 2:* empleando los factores típicos del MOPT-CONAVI

- *Escenario 3:* se supondrá que el país cuenta con mecanismos adecuados para seguir un estricto control de pesos (por ejemplo, estaciones de pesaje en óptimas condiciones). De esta manera, todos los ejes que se encuentren con sobrepesos por encima de los límites establecidos en la normativa vigente (ver Tabla 1), se suman a la cantidad de ejes que se encuentran en el límite de la carga máxima permitida para cada tipo de vehículo y eje correspondiente, con lo que se supone que los vehículos respetan totalmente la reglamentación vigente y no se presentarán vehículos con sobrepesos, de esta manera los factores camión varían de acuerdo con la Tabla 5.

Un ejercicio que puede aplicarse a estos resultados, es por ejemplo considerar la Ruta 32 Braulio Carrillo (peaje); en la cual, para los 3 escenarios propuestos, se

Tabla 5

Factor camión para las rutas bajo estudio con cargas controladas

RUTA	Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta 1 - General Cañas (peaje)	0,011	0,019	0,448	1,705	1,182	1,509
Ruta 1 - Bernardo Soto Naranjo (peaje)	0,011	0,016	0,625	2,288	0,995	2,214
Ruta 1 - Bernardo Soto Esparza (peaje)	0,011	0,074	0,568	1,905	1,275	2,379
Ruta 2 - Florencio del Castillo (peaje)	0,015	0,031	0,562	1,253	1,271	1,748
Ruta 2 - Pérez Zeledón (tránsito)	0,012	0,014	0,283	1,276	1,041	1,629
Ruta 27 - Próspero Fernández (peaje)	0,011	0,016	0,584	1,595	1,254	1,542
Ruta 32 - Braulio Carrillo (peaje)	0,011	0,022	0,387	2,199	0,989	1,907
Ruta 140 - San Carlos (Ciudad Quesada - Florencia)	0,012	0,014	0,260	1,430	0,773	0,707
PROMEDIO	0,0117	0,0258	0,465	1,706	1,098	1,705
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,001	0,020	0,142	0,396	0,179	0,510

calcula los ESALs para un periodo de diseño de hasta 20 años, con base en un crecimiento obtenido a partir de conteos de la Estación 14 del MOPT y del cálculo de la capacidad de la vía, obteniéndose así el Gráfico 1.

Del gráfico 1 se infiere que si el MOPT-CONAVI diseña un pavimento utilizando los factores camión típicos para que cumpla un período de vida útil de 15 años, se esperarían una cantidad de 25 millones de ejes equivalentes; sin embargo, como se comprueba en la presente investigación las cargas son mayores a las esperadas, por lo que esa cantidad de ejes equivalentes de diseño pasarán en su totalidad al cabo de 11 años de vida útil, aproximadamente. Si en el país se controlaran

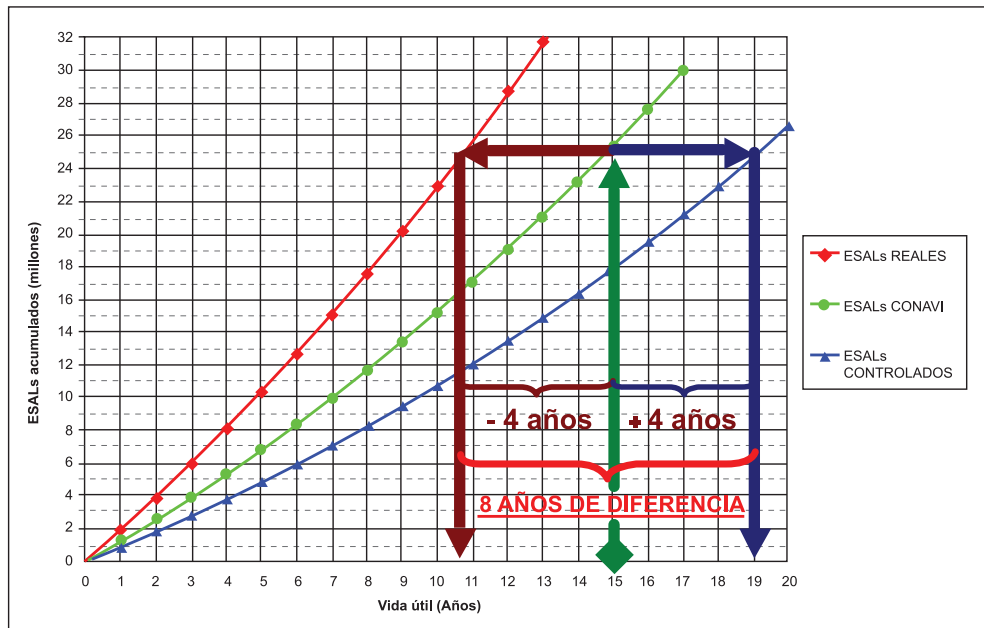
efectivamente las cargas de los vehículos y los usuarios respetaran en forma adecuada el reglamento de pesos y dimensiones actual, esa cantidad de ejes equivalentes de diseño se alcanzaría hasta el año 19. De esta manera, se obtiene una disminución de cerca del 50% de años de servicio entre la condición de pesos controlados y las cargas reales que actualmente circulan.

3.3 Análisis del TPD y distribución vehicular con el factor camión

Como parte de la investigación, se recolectaron datos históricos del tránsito promedio diario (TPD) de las distintas zonas de estudio, gracias a la Dirección de Ingeniería de Tránsito del MOPT y a su vez se realizaron conteos manuales de 24 horas (de mayo a julio del año

Gráfico 1

Comparación de ejes equivalentes de diseño vs vida útil del pavimento



Tipo de Vehículo		Distribución vehicular						
		TPD	Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta - Sentido Ruta 1 - General Cañas (peaje)	San José - Alajuela	33028	8,43 %	1,24 %	7,52 %	5,37 %	1,51 %	3,13 %
	Alajuela - San José	30535	8,32 %	1,20 %	7,50 %	5,38 %	1,49 %	3,11 %
Ruta 1 - Bernardo Soto Naranjo (peaje)	Naranjo	21105	13,90 %	2,02 %	11,21 %	3,20 %	2,71 %	8,70 %
Ruta 1 - Bernardo Soto Esparza (peaje)	Esparza	11696	9,38 %	5,30 %	6,06 %	2,24 %	0,78 %	7,25 %
Ruta 2 - Florencio del Castillo (peaje)	San José - Cartago	18536	6,04 %	1,87 %	5,92 %	4,77 %	1,63 %	3,47 %
	Cartago - San José	21959	6,24 %	2,02 %	6,56 %	5,19 %	1,76 %	3,79 %
Ruta 2 - Pérez Zeledón (tránsito)	Pérez Zeledón	7669	24,68 %	3,27 %	8,82 %	2,90 %	2,40 %	3,64 %
Ruta 27 - Próspero Fernández (peaje)	San José - Escazú	18623	4,76 %	1,59 %	3,16 %	1,83 %	1,05 %	0,78 %
	Escazú - San José	27730	6,93 %	1,55 %	2,89 %	1,32 %	1,06 %	0,55 %
Ruta 32 - Braulio Carrillo (peaje)	Peaje	8472	11,07 %	3,23 %	10,45 %	2,56 %	2,96 %	23,65 %
Ruta 140 - San Carlos (Ciudad Quesada - Florencia)	Ciudad Quesada Florencia	10828	17,25 %	2,27 %	5,65 %	1,71 %	1,25 %	0,46 %

2006) de la mano con conteos automáticos de una semana, para determinar el TPD con su respectiva distribución vehicular. Posteriormente estos valores fueron comparados y ajustados con el valor histórico de la zona de estudio. Obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la Tabla 6.

En el gráfico 2 se presenta la variación del TPD con la distribución vehicular, con lo cual finalmente se puede determinar la importancia relativa de los distintos factores que determinan el daño al pavimento y ponderan el diseño del mismo.

En el gráfico 2, se observa que en las rutas:

- Ruta 32. Braulio Carrillo (peaje): carretera primaria, empleada para el transporte masivo de productos, al puerto marítimo del Atlántico, en la provincia de Limón;
- Ruta 1. Bernardo Soto, Esparza (peaje): carretera primaria, empleada para el transporte masivo de productos, al puerto marítimo del Pacífico, en la provincia de Puntarenas.

Se presentan valores de tránsito promedio diario en menor magnitud que la mayoría de las zonas, pero con mayor predominancia de vehículos pesados. Esto se explica claramente por el movimiento importante de mercancías.

Adicionalmente, se puede notar fácilmente que la composición vehicular varía en cada zona y de ahí la

enorme importancia de tomar en cuenta este efecto a la hora de realizar el diseño del pavimento, de forma tal que pueda soportar la sollicitación de cargas reales, con la frecuencia y la composición vehicular propia de cada zona de proyecto.

En el Gráfico 3 se presenta la relación del tránsito promedio diario con el factor camión en cada zona de estudio. Cabe destacar que se debe analizar el daño relativo que sufre el pavimento en función tanto de las cargas que recibe, expresadas en términos de factor camión, y de las repeticiones de las mismas, expresadas en TPD de la mano con la distribución vehicular.

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 y es parte de la Interamericana). Del gráfico 3, se observa que tanto la Ruta 32 como la 1 presentan los mayores factores camión para el vehículo T3-S2, el cual es el más común para el transporte de mercancías.

Además, se observa que dentro de la Gran Área Metropolitana, GAM (Ruta 1 General Cañas, Ruta 2 Florencio del Castillo y Ruta 27 Próspero Fernández) e inclusive en Pérez Zeledón, predominan los valores altos de factor camión para los vehículos tipo C3, esto se explica por la mayor facilidad de movilización de mercancías o productos por estas rutas a menor escala, empleando este tipo de vehículo.

Gráfico 2

TPD y distribución vehicular por zona de estudio

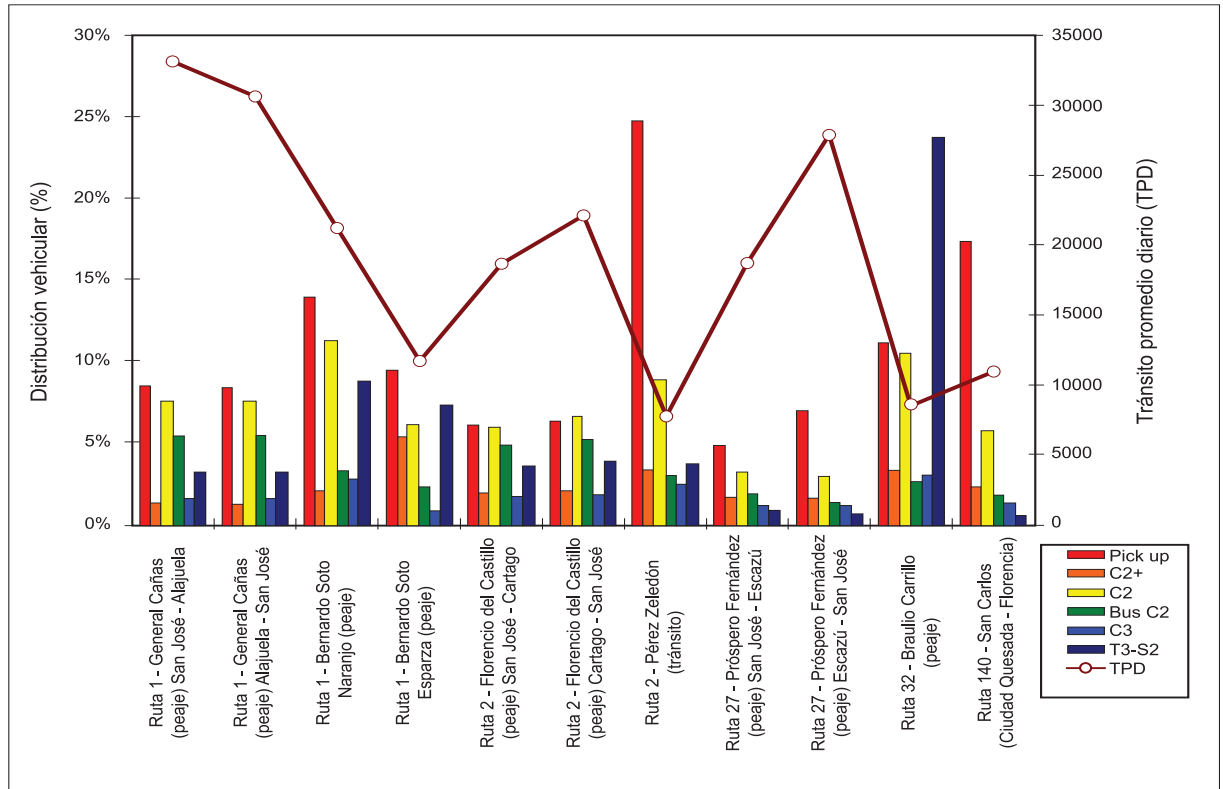
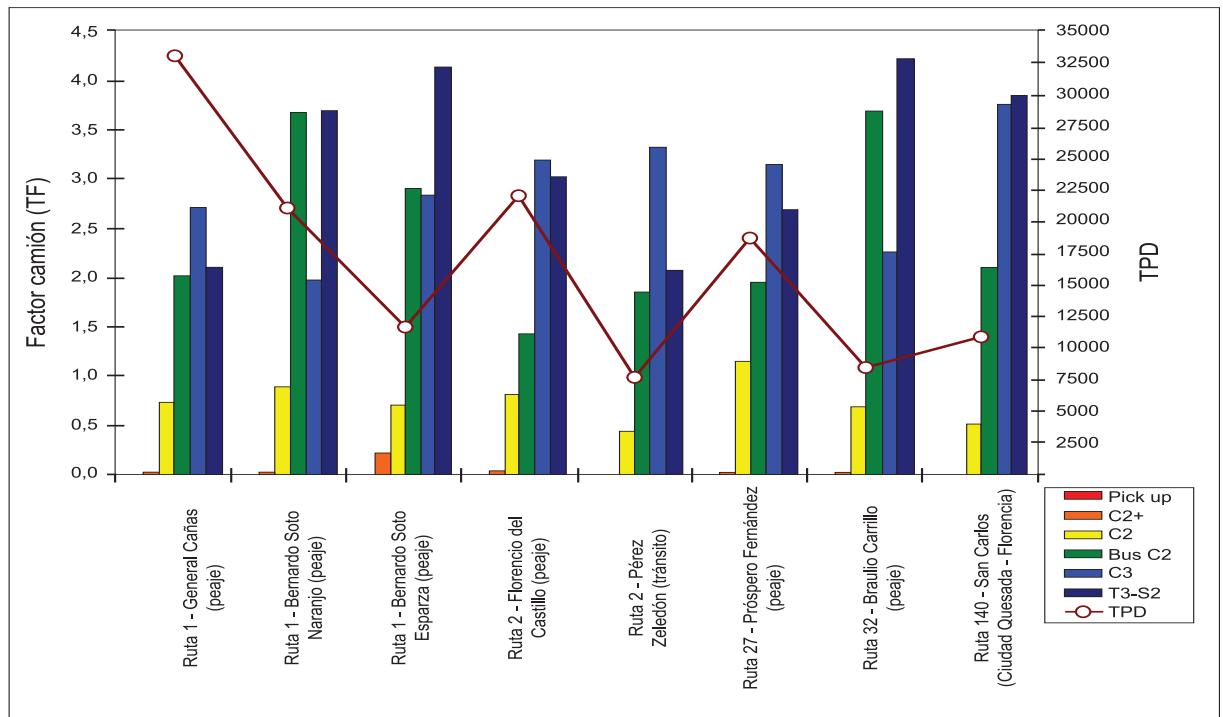


Gráfico 3

Relación del factor camión y el TPD por zona de estudio



4. Conclusiones

Producto de las cargas estudiadas, se evidencia que los factores camión utilizados hasta el momento subestiman el peso real de los vehículos que atraviesan las carreteras de Costa Rica.

Es muy importante, complementar los resultados y los gráficos de factor camión con los valores de tránsito promedio diario y a su vez con la composición vehicular de cada zona.

Es necesario contar con valores de factor camión específico por tipo de zona; esto porque sin duda alguna según las características de cada región (uso del suelo, trasiego de mercancías, volumen y capacidad de la ruta, etc.) así será la solicitud de cargas que se le impongan a la infraestructura.

Se demuestra, además, la enorme importancia de controlar las cargas de los vehículos, como medida que garantiza la vida útil de las inversiones en el patrimonio vial.

A partir de estos resultados, se generan diversas herramientas fundamentales para formular tanto el “Manual de Especificaciones Técnicas de Materiales” como la “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 que sin duda alguna son el engranaje para propiciar el desarrollo de la nación.

5. Referencias bibliográficas

1. American Association of State Highway and Transportation Officials, “Guide for Design of Pavement Structures”, Apéndice D, Washington, D.C (1993).
2. American Association of State Highway and Transportation Officials, “Guide for Design of Pavement Structures”, (2002).
3. Asphalt Institute, “Traffic Analysis and Thickness Design – Highways”, 1993.
4. Diario Oficial de Costa Rica La Gaceta No. 13, miércoles 19 de enero del 2005.
5. García , María Fernanda, “Variable Tránsito Colombiana para el Diseño de Pavimentos según AASHTO 2002”. Pontificia Universidad Javeriana, Epiciclos, Colombia (2002).
6. “Mechanistic-Empirical Design of New and rehabilitated pavement structures”. NCHRP Report 1-37A, National Cooperative Highway Research Board, National Research Council, Illinois, (2004).
7. Portland Cement Association, “Traffic Load Analysis”, (1993).
8. Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI, Dirección de Ingeniería.
9. Figueroa, Tomás y Villalta, Carlos, “Metodología simplificada para determinar el índice de priorización de las rutas incluidas en los proyectos de conservación vial de la Red Nacional Pavimentada, Segunda Generación”. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Costa Rica. Abril 2006.