




Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-GM-INF-16-14



ASESORÍA TÉCNICA:
DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES
CAMIÓN PROMEDIO EN LAS ESTACIONES
DE PESAJE EN COSTA RICA
PERIODO 2008-2011

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal
PITRA-LanammeUCR

San José, Costa Rica
Setiembre, 2014

Información técnica del documento

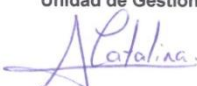
1. Informe LM-PI-GM-INF-16-14		2. Copia No. 3	
3. Título y subtítulo: DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES CAMIÓN PROMEDIO EN ESTACIONES DE PESAJE EN COSTA RICA: PERIODO 2008-2011		4. Fecha del Informe Setiembre, 2014	
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
6. Encargada de publicación: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Unidad de Gestión Municipal		7. Diseño y diagramación: Mauricio Bolaños	
7. Resumen <i>En esta asesoría se presenta un análisis de las bases de datos recopiladas entre los años 2008-2011 en seis diferentes estaciones de pesaje, ubicadas en las principales rutas de la red vial nacional empleadas comúnmente para el transporte de mercancías. A partir de esta información se calcularon los factores camión promedio considerando las cargas reales con las que circulan los conductores de vehículos pesados por las carreteras de nuestro país.</i> <i>Para ello, se presentan las distribuciones porcentuales del tránsito y las cargas promedio reales de circulación de cada tipo de vehículo: C2, C3, C4, T2-S1, T3-S1, T3-S2 y T3-S3.</i> <i>Adicionalmente, se muestra una breve comparación con los factores camión calculados en años anteriores, y sus tendencias decrecientes como consecuencia de la implementación de sistemas de control en las mediciones de pesaje.</i> <i>Por último, se demuestra la importancia de incluir a los autobuses en este tipo de encuestas de carga, pues en la actualidad estos vehículos se excluyen del control que permite determinar si transitan o no con sobrepeso.</i>			
8. Palabras clave Carga, factores camión, reglamentación		9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 18
11. Preparado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Unidad de Gestión Municipal		Ing. Ana Catalina Vargas Sobrado Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 30 / 09 / 2014	12. Colaboración: Efraín Sánchez Solano Ariana Perera Lizano Jonathan Monge
13. Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 30 / 09 / 14	14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: / /	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: / /	

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. SITUACIÓN ACTUAL.....	5
1.2. ANTECEDENTES	6
1.3. JUSTIFICACIÓN	7
1.4. OBJETIVO GENERAL DE LA ASESORÍA	8
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.6. MARCO TEÓRICO	8
1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES	10
2. RESULTADOS.....	12
2.1. DISTRIBUCIÓN VEHICULAR	12
2.2. PESOS.....	14
2.3. FACTOR CAMIÓN.....	16
3. CONCLUSIONES.....	17
4. RECOMENDACIONES	18
5. REFERENCIAS.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PERIODO ANALIZADO POR ESTACIÓN.....	11
TABLA 2. FACTORES CAMIÓN DE AUTOBUSES.....	11
TABLA 3. TIPOS DE VEHÍCULOS Y SU CONFIGURACIÓN DE EJES.....	12
TABLA 4. FRECUENCIA DE VEHÍCULOS ANALIZADOS.....	13
TABLA 5. DISTRIBUCIÓN VEHICULAR POR ESTACIÓN DE PESAJE.....	14
TABLA 6. PESO PROMEDIO POR TIPO DE VEHÍCULO Y EJE.....	15
TABLA 7. FACTOR CAMIÓN PROMEDIO EN EL PERÍODO 2008-2011.....	16
TABLA 8. COMPARACIÓN DE FACTORES CAMIÓN OBTENIDOS DESDE EL AÑO 2007 AL AÑO 2011.....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PESAJE.....	10
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN VEHICULAR POR ESTACIÓN DE PESAJE.....	14

1. Introducción

1.1. Situación actual

En Costa Rica, al igual que en otros países donde las carreteras son el único medio de transporte de carga pesada, la red vial es en un componente fundamental para el desarrollo económico, por lo que mantenerla con los estándares mínimos de calidad tanto estructural como funcional es de gran importancia si se desean brindar adecuados niveles de servicio y seguridad a los conductores de vehículos que transitan dentro del territorio nacional.

Sin embargo, para que un pavimento presente estas condiciones es necesario disponer de bases de datos confiables para el desarrollo del diseño, de manera tal que la capacidad de diseño de la carretera sea capaz de resistir las cargas reales que circularán sobre ella, sin necesidad de sub-diseñar o sobre-diseñar la estructura. Para ello, es necesario también conocer la magnitud y forma en la cual estas cargas serán aplicadas sobre el pavimento, por lo que es imprescindible determinar la distribución porcentual de clases vehiculares del tránsito de una zona, y los pesos promedios que estos ejercen.

De acuerdo con bases de datos brindadas por parte del Departamento de Pesos y Dimensiones del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), en este documento se da seguimiento a una encuesta de carga con el propósito de determinar los factores camión para el periodo 2008-2011, la cual ha sido realizada en seis estaciones de pesaje ubicadas en las principales rutas nacionales del país, abarcando así los vehículos de mayor capacidad de carga para el tránsito de mercancías: N° 1 San José-Peñas Blancas (frontera con Nicaragua), N°2 San José-Paso Canoas (frontera con Panamá) y N° 32 San José-Limón (costa del Caribe).

Por medio de estas estaciones se controla la cantidad de toneladas que cada eje de un vehículo va a transmitir a la estructura del pavimento, medio por el cual se ha evidenciado una disminución en los excesos de carga de los vehículos pesados (LanammeUCR, 2009). De igual forma, con esta generación de bases de datos mediante encuestas de carga, se permite conocer el peso promedio real con el que circula cada una las clases vehiculares (C2, C3, C4, T2-S1, T3-S1, T3-S2 y T3-S3; cuya definición se establece más adelante en la Tabla 3); dato de gran importancia para los diseñadores de pavimentos.

Adicionalmente, como parte de este documento se establecen comparaciones con factores camión calculados por el PITRA-LanammeUCR en los años 2007 y 2009, con el objetivo de demostrar la importancia que representa un adecuado control de las cargas con las que circulan los vehículos. Lo anterior pues, si se evita que los conductores viajen con exceso de carga, se reducirá el daño que los vehículos generen sobre la calzada, y por ende se extenderá su vida útil.

Dado que un adecuado control de cargas ayuda a evitar deterioros prematuros en las estructuras de pavimentos, en otros países se han implantado multas a aquellos transportistas que excedan las cargas máximas permitidas. Estas sanciones varían de acuerdo con la magnitud del sobrepeso, y son cobradas a todos aquellos que se encuentren involucrados en el proceso de carga de los vehículos.

El daño que generan estas cargas a la estructura del pavimento se introducen en el proceso de diseño mediante los *factores camión (FC)* definidos por la metodología de diseño AASHTO, por lo que en el desarrollo de este documento se calcularán dichos factores para las carreteras de nuestro país, según datos obtenidos entre los años 2008-2011.

1.2. Antecedentes

En julio del año 2007, el LanammeUCR elaboró un proyecto de investigación denominado *Determinación de Factores Camión en Pavimentos de Costa Rica* (Allen *et al.*, 2007), con el objetivo de elaborar una encuesta de carga que diera a conocer las cargas aplicadas al pavimento y las características de la clasificación vehicular que las ejercían.

En este estudio se concluyó que para ocho rutas del país los factores camión utilizados comúnmente subestimaban las cargas reales del tránsito. Lo anterior influyó para que las autoridades ejecutaran mayores controles de pesaje, ya que en aquel momento el MOPT no ejercía un adecuado control de las cargas de los vehículos pesados, ni disponía de factores camión calibrados para las condiciones de Costa Rica.

Dos años después, en octubre del año 2009, se elaboró un estudio similar denominado *Incidencia de las Estaciones de Pesaje Móvil en los Factores Camión en Pavimentos de Costa Rica* (Badilla & Molina, 2009). Esta investigación se basó en los datos obtenidos de las

estaciones de pesaje móvil implementadas por el MOPT y CONAVI, y evidenció la importancia del control de carga, dado que se demostró una variación del factor camión antes y después de implementar sistemas que controlen el peso que transmite cada vehículo.

En este último trabajo se obtuvo como conclusión que los factores camión encontrados fueron menores a aquellos que existían antes del año 2007, con lo que también se determinó una tendencia a la estabilización de las cargas dentro del rango permitido en la legislación, pues como se indicó, producto del control se comenzó un proceso de concientización en los transportistas de las rutas controladas por estaciones de pesaje.

Finalmente, en el proyecto de investigación desarrollado por Espinoza (2013) en conjunto con el LanammeUCR (trabajo final de graduación para optar por el grado de licenciatura en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica), denominado *Determinación de factores camión y espectros de carga representativos de autobuses urbanos e interurbanos para diseño de pavimentos flexibles en carreteras de Costa Rica*, se estudió la influencia significativa que representan los autobuses en el daño generado a las estructuras de pavimentos.

1.3. Justificación

La disminución de la vida útil de una estructura de pavimento puede ser producto de diferentes factores como: cantidad de vehículos que circulan sobre ella, condiciones extremas del medio ambiente que la rodean, características de los materiales que la componen, proceso constructivo, entre otros. Sin embargo, un aspecto de gran importancia es el daño que genera la carga de los vehículos.

Se entiende que los vehículos pesados son aquellos que generan mayor daño a una estructura de pavimento, pues se ha demostrado que el daño crece exponencialmente cuando se genera un incremento de carga más allá del permitido. Es decir, si los vehículos pesados superan el límite máximo de toneladas permitidas aunque sea en una pequeña cantidad, el daño generado por cada eje a la calzada será mucho mayor.

De tal manera, en este estudio se pretende dar continuidad a la investigación anterior desarrollada en el año 2009 mediante una ampliación a las bases de datos utilizadas para ese entonces, con la finalidad de determinar los factores camión para el periodo 2008-2011.

1.4. Objetivo general de la asesoría

Determinar los Factores Camión para Costa Rica de acuerdo con datos del periodo 2008-2011, considerando que en el país existe una reglamentación que controla el peso de los vehículos de carga mediante la implementación de seis estaciones de pesaje ubicadas en las principales rutas de la Red Vial Nacional.

1.5. Objetivos específicos

- Analizar las bases de datos recopiladas en seis diferentes estaciones de pesaje ubicadas sobre la Red Vial Nacional, entre los años 2008 y 2011.
- Determinar la distribución porcentual de las clases vehiculares que conforman el tránsito analizado en las estaciones de pesaje.
- Calcular el peso promedio real con el que circula cada una de las clases vehiculares por las principales rutas de nuestro país.
- Obtener los factores camión ponderados para cada tipo de clasificación vehicular empleada por el MOPT en las Rutas Nacionales N° 1, 2 y 32.

1.6. Marco teórico

El diseño de una estructura de pavimento en nuestro país se realiza por medio de la aplicación de la metodología de la guía de diseño AASHTO 93, en la cual es necesario estimar el tránsito vehicular y la carga que circulará sobre ella a lo largo de su vida útil. Sin embargo, dado que estas características son variables según la composición de la flota vehicular, es necesario homogenizar las diferentes formas y magnitudes en que se transmiten las cargas.

Esta homogenización se logra mediante la determinación de Ejes Equivalentes de Diseño (ESALs) encargados de evaluar el daño relativo del paso de un tipo de eje y carga cualquiera, en relación con el daño de un eje simple estándar (para nuestro país, un ESAL es equivalente al daño que genera un eje de 80 kN, o bien 18 000 lb).

Para determinar los ESALs, se deben conocer otros parámetros: los factores camión y los factores equivalentes de carga. Los Factores Equivalentes de Carga (LEF) representan la relación existente entre el daño que genera una carga específica de un eje, y la provocada por el eje de referencia. Estos ejes están definidos en la guía de diseño AASHTO 93 para cada tipo

de: pavimento (flexible, rígido), eje (simple, tándem, tridem), espesor, número estructural y serviciabilidad final.

Una vez determinados los factores de equivalencia de carga, se puede calcular los factores camión (FC). Estos permiten conocer el daño que los ejes de cada vehículo le genera al pavimento, y corresponden a la suma de los LEF de cada vehículo.

$$FC \text{ promedio} = \frac{[\sum(\text{Número de ejes} * LEF)]}{\text{Número de vehículos encuestados}}$$

De tal manera, se puede determinar la cantidad de ejes equivalentes de carga de 80 kN que deberá soportar en total una determinada estructura de pavimento para todos sus años de servicio. Posteriormente, para conocer el valor de ejes equivalentes de diseño para cada tipo de vehículo, se aplica la siguiente fórmula:

$$ESAL_{(\text{tipo de vehículo})} = \sum (TPDA * \text{distribución por tipo de vehículo, \%}) * FC_{(\text{tipo de vehículo})}$$

Sin embargo, para el diseño se debe conocer la cantidad total de ESALs por día ($ESAL_{\text{día}}$), es decir, considerando todas las clases de vehículos, por lo que se suman los ESALs de todas las categorías anteriores. Por último, para conocer la cantidad de ejes equivalentes con los cuales una debida obra deberá ser diseñada, es necesario considerar aspectos de los carriles y vida útil de la carretera, por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$ESAL_{\text{diseño}} = ESAL_{\text{día}} * DS * LDF * GF * Y * 365$$

$$GF * Y = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde cada una de las variables son:

$ESAL_{\text{diseño}}$: Ejes equivalentes de diseño (por año).

DS : Factor de distribución por sentido.

LDF : Factor de distribución por carril.

$GF * Y$: Factor de crecimiento para el período de diseño esperado.

r : Tasa de crecimiento anual.

n : Vida útil.

1.7. Alcances y limitaciones

En la determinación de los factores camión para el periodo 2008-2011, se emplearon las encuestas de carga recolectadas en seis estaciones de pesaje que operan en diferentes rutas de la Red Vial Nacional. Estos datos fueron provistos por el MOPT, por lo que su precisión y veracidad se encuentran fuera del control del PITRA-LanammeUCR. En la Figura 1 se observa la ubicación geográfica de cada una de las estaciones (las estaciones de Cartago y Limón funcionan en ambos sentidos).

Se hace notar que los períodos de recopilación de datos en las estaciones de pesaje son distintos, por lo que en la Tabla 1 se detalla el tiempo de funcionamiento específico para cada una de las estaciones, así como también, se presenta el sentido o dirección en que se efectúa el pesaje de los vehículos.

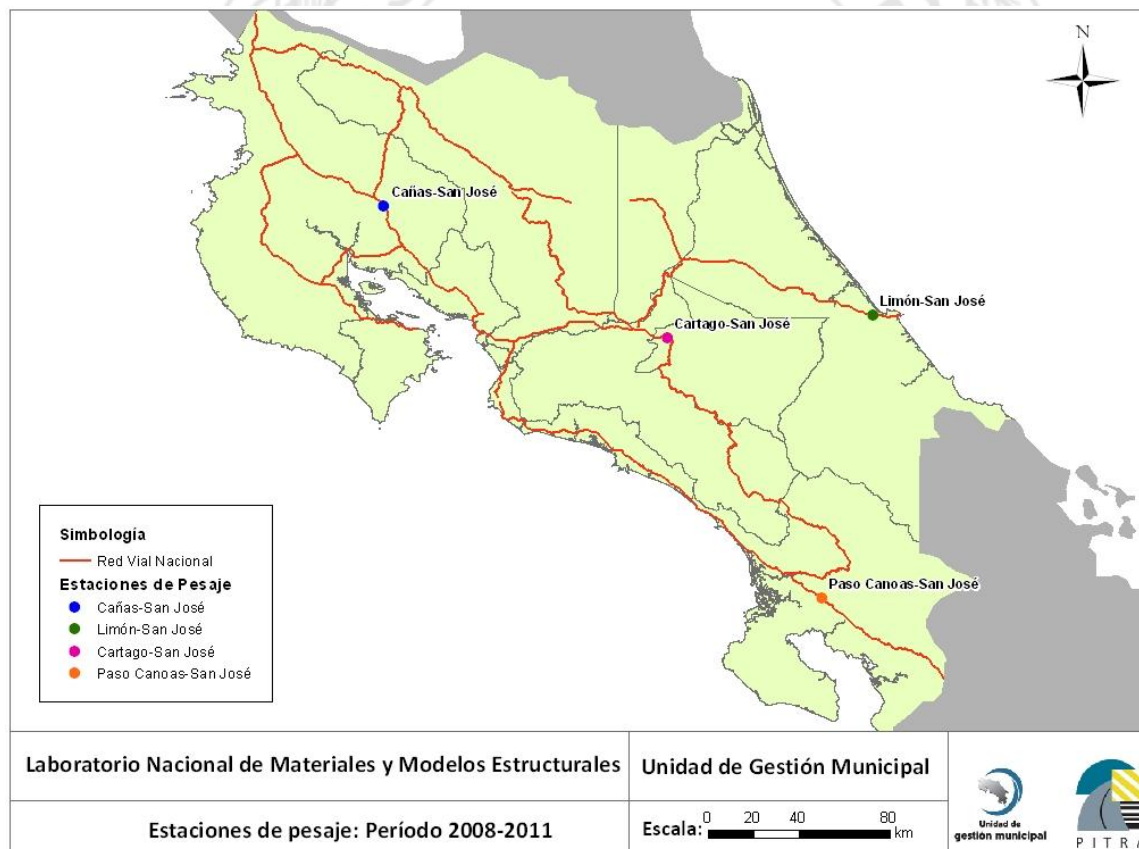


Figura 1. Ubicación de las estaciones de pesaje.

Tabla 1. Periodo analizado por estación.

Estación	Sentido de pesaje	Periodo analizado
Estación 1	San José-Limón	Noviembre 2008 - Octubre 2011
Estación 2	Limón-San José	Noviembre 2008 - Octubre 2011
Estación 3	Cañas-San José	Enero 2009 - Setiembre 2009
Estación 4	San José-Cartago	Enero 2009 - Octubre 2011
Estación 5	Cartago-San José	Enero 2009 - Octubre 2011
Estación 6	Paso Canoas-San José	Octubre 2009 - Octubre 2011

Es importante mencionar que en las encuestas de carga utilizadas no se consideran aquellos vehículos pesados que emplean rutas alternas para evadir los puntos de control (estaciones de pesaje); así como tampoco se contemplan las cargas ejercidas por los autobuses, pues este tipo de vehículo no es sometido a controles de peso.

En la investigación realizada por Espinoza (2013), se obtuvo como resultado que los autobuses presentan factores camión elevados, y que por ende sería importante considerarlos en las encuestas de carga de las estaciones de pesaje. En la

Tabla 2 se muestran los valores mínimo, promedio y máximo de factores camión para autobuses en diferentes rutas del país, de acuerdo con dicha investigación.

Tabla 2. Factores camión de autobuses.

		Factor camión		
		Mínimo	Promedio	Máximo
MOPT/CONAVI		1,25	1,71	2,29
Clasificación	Urbanos	0,17	1,02	3,86
	Interurbanos	0,48	2,88	5,64
Ruta	No. 218	0,22	1,01	2,35
	No. 032	0,33	2,90	5,64
	No. 002-Total	0,17	1,19	4,63
	No. 002-Curridabat	0,17	0,85	3,06
	No.002-Ochomogo y La Lima	0,32	1,83	4,63

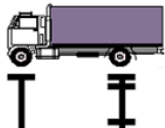
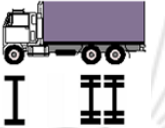


Fuente: Espinoza, 2013.

2. Resultados

2.1. Distribución Vehicular

De acuerdo con las bases de datos obtenidas, se determinó la frecuencia con la que cada clase de vehículo transita por las estaciones de pesaje en estudio, según la clasificación vehicular que se emplea en el departamento de Planificación Sectorial del MOPT, es decir: C2, C3, C4, T2-S1, T3-S1, T3-S2 y T3-S3. En la Tabla 3 se ilustran los vehículos según esta distribución.

Tabla 3. Tipos de vehículos y su configuración de ejes.

Tipo	Configuración del vehículo
C2	
C3	
T3-S2	
T3-S3	

Fuente: Allen & Badilla, 2011.

En la Tabla 4 se muestra esta frecuencia de medición, y se concluye que los vehículos tipo C2, C3 y T3-S2 son los que transitaron con mayor frecuencia, mientras que las categorías C4, T2-S1 y T3-S1 no aportan cantidades significativas de vehículos. Sin embargo, es importante mencionar que aunque estas clases vehiculares transitan en menor cantidad por la red vial nacional, sí presentan sobrepesos considerables, lo cual demuestra que el control de pesos es fundamental en todo tipo de vehículo pesado, incluyendo autobuses también.

Tabla 4. Frecuencia de vehículos analizados.

Categoría	Frecuencia	Porcentaje
C2	2,064,136	39,5%
C3	340,908	6,5%
C4	81,188	1,6%
T2 - S1	4,239	0,1%
T3 - S1	6,134	0,1%
T3 - S2	2,351,954	45,0%
T3 - S3	378,980	7,2%
Total	5,227,540	100%

En la Tabla 5 se presenta la distribución de vehículos de manera desagregada según cada una de las estaciones de pesaje. Esta distribución de vehículos es similar a la que se obtuvo en la investigación del año 2009 para cada ruta.

Para aquellas estaciones de pesaje que midieron el peso de los vehículos que transitaban en dirección procedente o hacia las fronteras (estaciones 1, 2, 3 y 6), se determinó que la mayor cantidad de vehículos que circulaban por la zona pertenecen a la categoría T3-S2; a diferencia de la estaciones 4 y 5 en el sentido San José-Cartago y viceversa, donde existe un predominio significativo en la categoría C2.

Esta distribución porcentual obedece a los diferentes objetivos o destinos finales del transporte de mercancías. Las rutas que conducen a puntos de exportación o salida de productos a otros países, presentan vehículos de mayor tamaño (T3-S2) que permitan optimizar sus viajes. En este grupo, también se incluye a los vehículos internacionales que únicamente utilizan la red vial de nuestro país como paso por la región centroamericana. Por otro lado, están los vehículos C2, de menor tamaño, que transportan mercadería de manera interna, y que por lo tanto tienen trayectos y solicitudes de carga menores.

Tabla 5. Distribución vehicular por estación de pesaje.

Ruta	Distribución vehicular							
	Total	C2	C3	C4	T2 - S1	T3 - S1	T3 - S2	T3 - S3
Ruta 32: San José - Limón	1 179 614	13,5%	2,6%	2,7%	0,03%	0,1%	70,2%	11,0%
Ruta 32: Limón - San José	1 164 964	13,2%	3,2%	0,2%	0,03%	0,1%	73,5%	9,8%
Ruta 01:Cañas - San José	81 593	26,2%	7,1%	0,2%	0,07%	0,3%	60,1%	6,0%
Ruta 02:San José - Cartago	1 362 903	64,7%	9,5%	1,0%	0,12%	0,1%	20,0%	4,5%
Ruta 02:Cartago - San José	1 320 295	60,6%	9,9%	2,5%	0,13%	0,1%	22,0%	4,7%
Ruta 2: Paso Canoas - San José	118 171	39,9%	6,3%	0,3%	0,07%	0,1%	46,8%	6,5%

En la Figura 2 se evidencia las diferentes distribuciones vehiculares. En dos de las estaciones predomina el sector en color azul correspondiente a la categoría "C2", y en las demás predomina el sector en color "verde", es decir, la categoría de la clase "T3-S2".

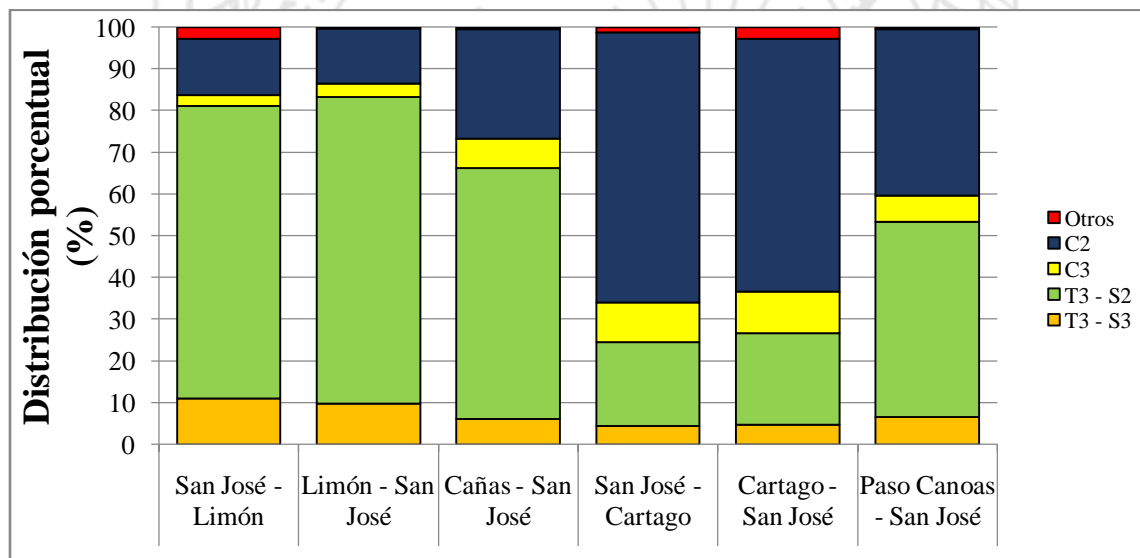


Figura 2. Distribución vehicular por estación de pesaje.

2.2. Pesos

De acuerdo con las encuestas de carga obtenidas se determina un peso promedio para cada tipo de eje según su clasificación vehicular (ver Tabla 6), y así se obtiene un promedio de los pesos reales con que circulan los transportistas por la red vial nacional.

Tabla 6. Peso promedio por tipo de vehículo y eje.

Estación	Parámetro	C2		C3		C4		T2 - S1		T3 - S1		T3 - S2		T3 - S3			
		Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tándem	Eje simple (1 llanta)	Eje Tridem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje Tándem	Eje simple (1 llanta)	Eje Tándem	Eje simple (1 llanta)	Eje Tándem	Eje Tridem
Estación 1	Peso Promedio (Ton)	2,63	3,99	4,95	10,54	5,33	20,59	3,49	4,03	4,32	5,78	11,51	4,34	12,35	4,50	14,75	18,32
	Desviación estándar	0,14	0,36	0,16	0,61	0,14	0,56	0,63	0,96	0,13	0,97	2,10	0,10	0,45	0,15	0,25	1,20
Estación 2	Peso Promedio (Ton)	2,58	3,68	4,93	8,91	4,86	15,46	3,46	3,75	4,32	4,46	8,61	4,36	8,53	4,48	10,19	11,13
	Desviación estándar	0,09	0,27	0,19	0,51	0,59	3,36	0,69	0,89	0,14	0,68	1,06	0,07	0,24	0,09	0,58	0,85
Estación 3	Peso Promedio (Ton)	2,95	4,39	4,87	10,95	5,03	14,05	3,62	4,18	4,47	5,02	10,33	4,48	11,84	4,61	13,98	16,44
	Desviación estándar	0,09	0,17	0,13	0,47	0,57	3,01	0,33	1,27	0,12	0,46	1,23	0,07	0,48	0,07	0,46	1,05
Estación 4	Peso Promedio (Ton)	2,53	3,55	4,74	9,84	5,12	18,52	3,38	3,35	4,28	5,07	8,51	4,38	9,26	4,51	12,84	15,05
	Desviación estándar	0,10	0,20	0,16	0,96	0,17	1,02	0,28	0,38	0,13	0,90	1,45	0,06	0,65	0,08	0,51	0,89
Estación 5	Peso Promedio (Ton)	2,54	3,61	4,83	11,11	5,18	19,64	3,53	5,81	4,35	5,43	9,75	4,40	10,97	4,58	14,55	17,97
	Desviación estándar	0,10	0,18	0,22	0,56	0,11	0,60	0,24	0,52	0,13	0,66	1,06	0,07	0,44	0,07	0,44	0,81
Estación 6	Peso Promedio (Ton)	2,77	3,87	4,78	8,98	5,01	16,02	3,14	3,51	4,56	5,21	7,68	4,57	9,74	4,50	10,04	11,44
	Desviación estándar	0,10	0,21	0,12	0,68	0,50	2,68	0,82	1,87	0,28	1,47	1,48	0,07	0,40	0,12	1,42	1,20
TOTALES	Peso Promedio (Ton)	2,62	3,73	4,85	9,97	5,10	17,94	3,43	4,13	4,36	5,18	9,38	4,40	10,28	4,52	12,67	15,02
	Desviación estándar	0,15	0,32	0,19	1,09	0,40	2,95	0,56	1,32	0,18	1,01	1,95	0,11	1,48	0,11	2,10	3,17

2.3. Factor camión

Finalmente, para determinar los factores camión en el periodo 2008-2011 se utilizaron las bases de datos de las estaciones de pesaje obtenidas del Departamento de Pesos y Dimensiones del CONAVI.

Estas disponen de un factor camión mensual previamente calculado; sin embargo, dado que cada estación de pesaje presenta distintos periodos de medición, y que cada mes presenta cantidades diferentes de vehículos, se realizó una ponderación de estos factores camión recolectados, y se muestran a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Factor camión promedio en el periodo 2008-2011.

Ruta	Factor Camión (FC)						
	C2	C3	C4	T2 - S1	T3 - S1	T3 - S2	T3 - S3
Ruta 32: San José - Limón	0,242	0,820	1,375	0,961	1,565	1,685	2,035
Ruta 32: Limón-San José	0,210	0,599	0,573	0,675	0,745	0,813	1,001
Ruta 1: Cañas-San José	0,340	0,846	0,792	0,749	1,169	1,603	1,776
Ruta 2: San José - Cartago	0,214	0,689	1,102	0,438	1,068	1,016	1,564
Ruta 2: Cartago-San José	0,205	0,880	1,199	1,874	1,273	1,394	2,027
Ruta 2: Paso Canoas - San José	0,268	0,604	0,956	0,668	0,936	1,072	1,014
Promedio ponderado	0,215	0,764	1,229	1,117	1,143	1,238	1,624
Desviación estándar	0,064	0,180	0,318	0,878	0,491	0,341	0,486
Rango intercuartil	0,058	0,243	0,407	0,293	0,336	0,587	1,013

Finalmente, en la Tabla 8 se muestra una comparación entre los valores de factores camión, según su evolución en los últimos años: desde el año 2007 hasta los valores calculados en este documento para el año 2011. Se puede observar cómo para todas las clases de vehículos, excepto para el C4, los valores han presentado una tendencia decreciente producto del control de cargas mediante la implementación de estaciones de pesaje en las principales carreteras del país.

Informe: LM-PI-GM-INF-16-14	Fecha de emisión: Setiembre, 2014	Página 16 de 18
-----------------------------	-----------------------------------	-----------------

Tabla 8. Comparación de factores camión obtenidos desde el año 2007 al año 2011.

Tipo de vehículo	Costa Rica MOPT-CONAVI antes 2007	Rango FC 2007, Lanamme	Directriz MOPT DVOP-5170-07	Control de pesos 2009, Lanamme	Control de pesos 2011, Lanamme
C2+	0,39	0,005-0,22	0,26	-	-
2 ejes (C2)	1,00	0,300-0,86	0,47	0,317	0,215
3 Ejes (C3)	1,45	1,43-3,08	1,10	0,933	0,764
4 Ejes (C4)	-	-	-	1,086	1,229
3 Ejes (T2-S1)	-	-	-	1,209	1,117
4 Ejes (T3-S1)	-	-	-	1,367	1,143
5 Ejes (T3-S2)	2,70	1,52-3,41	1,71	1,436	1,238
6 Ejes (T3-S3)	-	-	-	1,817	1,624

Fuente: Badilla & Molina, 2009.

3. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa la disminución en los valores de los factores camión desde el año 2007 hasta los obtenidos en este documento para el año 2011. Lo anterior evidencia la importancia que representa un adecuado control en la regulación de las cargas máximas permitidas para circular por la red vial nacional.

Únicamente la clase vehicular C4 mostró una tendencia creciente en los factores camión si se compara los resultados del 2009 y 2011. Sin embargo, aunque en la Tabla 5 y Figura 2 se mostró que este vehículo presenta un bajo porcentaje de la composición de la flota vehicular, no significa que el efecto de su circulación por las carreteras deje de ser importante.

También, se determinó que para la mayoría de las estaciones de pesaje los mayores factores camión corresponden a la clasificación vehicular tipo T3-S3, excepto para la estación "Paso Canoas-San José" en donde predominó la clase T3-S2. No obstante, es importante mencionar que para conocer cuál será la clase vehicular que aporte mayor daño a la estructura de pavimento, se deben incluir a los autobuses en este tipo de encuestas de carga, ya que en una investigación realizada recientemente se identificaron resultados con factores camión significativos (Espinoza, 2013). Adicionalmente, en un porcentaje considerable, estos vehículos exceden las cargas permitidas que pueden transportar, por lo que controlarlos en estaciones de

pesaje sería una medida efectiva para colaborar en la reducción de deterioros prematuros de las carreteras.

4. Recomendaciones

Como consecuencia de la renovación constante de la flota vehicular tanto de vehículos nacionales con internacionales, se recomienda dar un seguimiento continuo al trabajo realizado en este documento, de manera tal que se calculen con cierta periodicidad los factores camión de la red vial del país mediante la utilización de bases de datos actualizadas y completas.

Por lo tanto, es necesaria también la recopilación de información proveniente de estaciones de pesaje que recolecten datos de modo permanente, así como la incorporación de este tipo de controles en otras rutas nacionales también. Por último, es necesario que se comiencen a considerar a los autobuses en estos procedimientos, pues ya se demostró la gran influencia que ejercen en el aporte de cargas a la estructura de pavimento y que hasta el momento se subestiman.

5. Referencias

Allen, J., & Gustavo, B. (2011). Determinación de la carga de diseño para pavimentos flexibles en Costa Rica. *XVI Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto*, (pág. 12). Río de Janeiro .

Allen, J., Ulloa, Á., Sibaja, D., & Badilla, G. (2007). *Determinación de factores de los factores camión en Costa Rica*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales , San José, Costa Rica.

Badilla, G., & Molina, D. (2009). *Incidencia de las Estaciones de Pesaje Móvil en los Factores Camión en Pavimentos de Costa Rica*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Unidad de Investigación en Infraestructura Vial, San José.

Espinoza, J. C. (2013). Determinación de factores camión y espectros de carga representativos de autobuses urbanos e interurbanos para diseño de pavimentos flexibles en carreteras de Costa Rica. *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales* . San José, Costa Rica.