



# ENCUESTA DE CARGA EN PAVIMENTOS DE COSTA RICA

Preparado por  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

## **Ing. Álvaro Ulloa**

Research assistant in pavements and materials. Department of Civil and Environmental Engineering.

University of Nevada Reno

747 Washington St. Reno, Nevada 89503

Tel: (775) 3222641

E-mail: [ulloaa@unr.nevada.edu](mailto:ulloaa@unr.nevada.edu)

## **Ing. Gustavo Badilla**

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) 2074994

E-mail: [gbadilla@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:gbadilla@lanamme.ucr.ac.cr)

## **Ing. Jaime Allen, MSc.**

Universidad de California, Berkeley

Instituto de Estudios de Transporte

2041 Francisco Street #12, Berkeley, CA, USA 94709

Tel: (510) 6847648

E-mail: [allenjaime@berkeley.edu](mailto:allenjaime@berkeley.edu)

## **Denia Sibaja Obando**

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) 2074994

E-mail: [dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr)

San José, Costa Rica

Julio 2007

## **Resumen**

En Costa Rica se han presentado en los pavimentos asfálticos fallas prematuras, mucho antes de que las vías lleguen al término de su periodo de diseño, debido en gran parte a cargas de tránsito mayores a las que se prevén en el diseño final de la obra de infraestructura vial. Esta problemática tiene como una de sus principales causas que la normativa que regula este tema (Reglamento de Pesos y Dimensiones), no está acorde con las cargas reales a las que están sometidos los pavimentos en Costa Rica, tanto por la falta de control como por especificaciones poco realistas. Elementos detectados durante esta investigación como la falta de información actualizada, el aumento de la flota vehicular y el aumento significativo en las cargas transportadas evidencian la necesidad de solventar esta carencia de información.

Este proyecto de investigación presenta los resultados del análisis realizado para 8 importantes rutas del país con Tránsitos Promedios Diarios (TPD) altos, en la cual se realizó la recolección de datos actualizados de cargas de vehículos, mediante encuestas de carga, de las cuales se determinó una clasificación de la flota vehicular con características similares tanto en el uso como en las configuraciones de ejes y rango de cargas.

Posterior a la formulación de la base de datos de la encuesta de carga y características del tránsito, se determinaron los Factores Camión por tipo de vehículo, así como su Distribución Vehicular, para cada una de las rutas estudiadas.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La infraestructura vial de un país constituye un pilar fundamental en el desarrollo real del mismo. Con la ideología de 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):

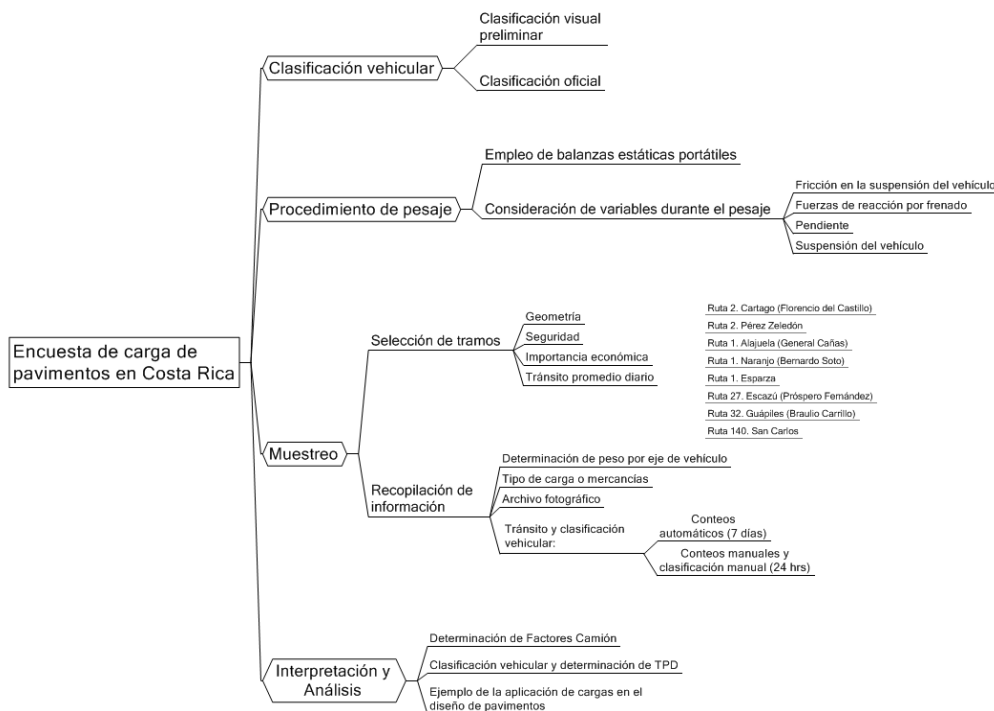
**Nivel 1:** Existe un muy buen conocimiento de las características del tráfico tanto en el pasado como en el futuro. Requiere un registro y análisis histórico del volumen y carga específica de cada zona en particular.

**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 siguiente esquema o diagrama de investigación:



**Figura 1:** Diagrama esquemático del proyecto de investigación

## **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.

### **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 se presenta un resumen de la información más importante.

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

**Tabla 1:** Peso máximo en ejes de tránsito

### 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.



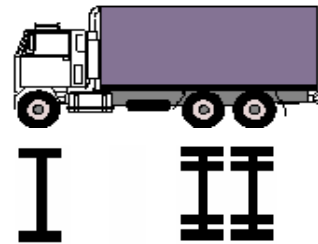
**Figura 2:** Pick-up modificado (liviano)



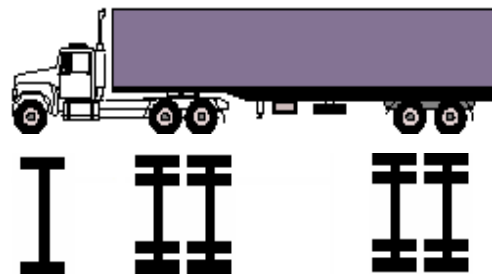
**Figura 3:** Camión con eje simple trasero (C2+)



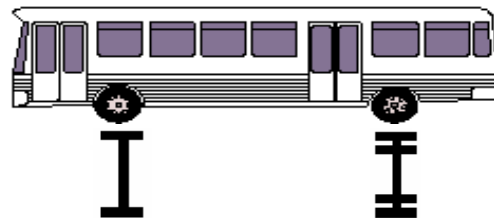
**Figura 4:** Camión con eje dual trasero (C2)



**Figura 5:** Camión con eje tandem trasero (C3)



**Figura 6:** Tractocamión con semirremolque (T3-S2)



**Figura 7:** Bus con eje dual trasero (Bus-C2)

## 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 siguiente esquema:

### 2.2.2 Medición general

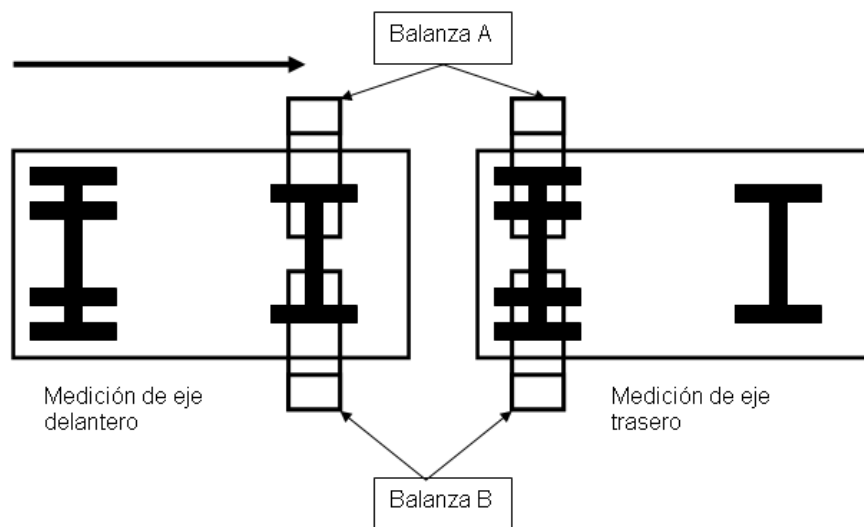


Figura 8: Medición

## 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:

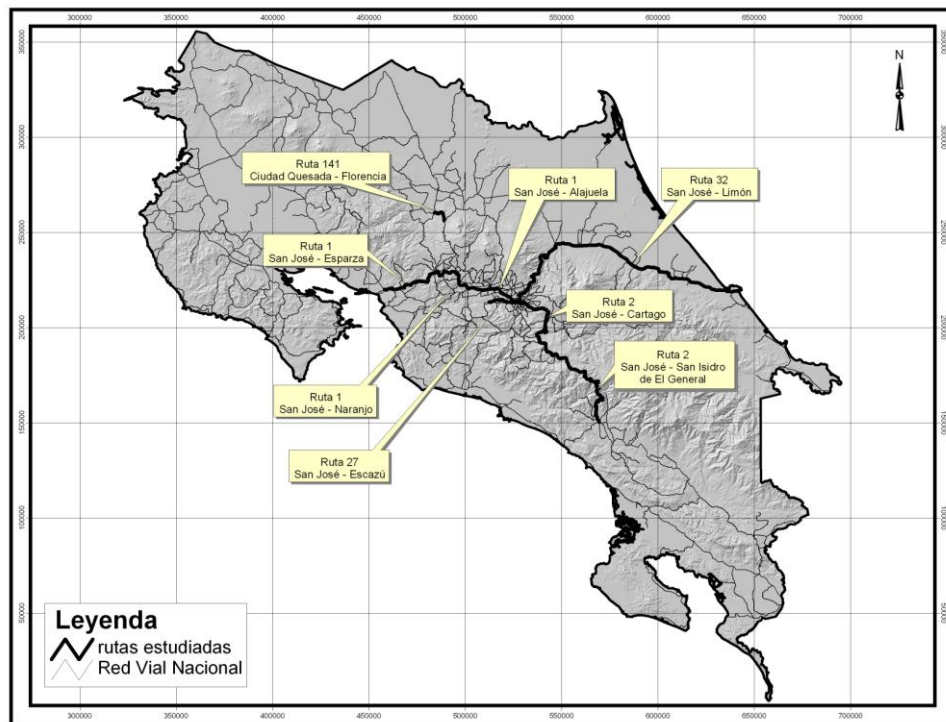
#### 2.3.1.1 Metodología de muestreo

- Se utilizan balanzas camioneras portátiles calibradas, precisión de  $\pm 50$  kg.
- Se pesan dos llantas por eje al mismo tiempo.
- Se especifica tanto si va cargado, tipo de carga y tipo de placa.
- Se cuenta con la ayuda de oficiales de tránsito, para poder detener a los vehículos sin problemas.
- Archivo fotográfico de cada vehículo.

- No se pesan vehículos livianos, solo pick-ups con vagón modificado.
- Se realiza el pesaje una vez por mes en cada punto.
- Se cambia dirección cada mes para cada punto.

### 2.3.1.2 Puntos de muestreo

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



**Figura 9:** Puntos de muestreo. Mapa elaborado por Lanamme-UCR

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

**Ruta 32. Braulio Carrillo (peaje):** 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.

**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):** 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.

**Ruta 1. General Cañas (peaje), Naranjo (peaje) y Esparza:** 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.

**Ruta 2. Florencio del Castillo (peaje), Pérez Zeledón (tránsito):** 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.

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:

- Florencio 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

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.

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-S1	1
<b>TOTAL</b>	<b>5063</b>
<b>No. Ejes</b>	<b>11464</b>

Tabla 2: Frecuencia de vehículos encuestados

### 2.3.3 Frecuencias

A continuación se presentan las frecuencias obtenidas para conformar la encuesta de carga y con base en ésta determinar los factores camión y el espectro de carga, de acuerdo los tramos de estudio.

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tándem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tándem
0-2000	48	94	97	65	0	0	6	6	0	0
2000-4000		8	133	109	5	4	14	5	9	4
4000-6000			26	50	32	6	32	4	75	60
6000-8000			5	15	14	15	8	18		28
8000-10000				9	3	3		23		5
10000-12000				6		0		4		9
12000-14000				4		1				10
14000-16000				3		4				20
16000-18000						7				20
18000-20000						5				7
20000-22000						4				3
22000-24000						3				0
24000-26000						2				2
26000-28000										
28000-30000										
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1165</b>									

Tabla 3: Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 1 – General Cañas (peaje)

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	10	42	44	27	0	0	1	1	0	0
2000-4000		2	138	113	2	2	3	2	15	5
4000-6000			39	40	36	2	10	2	190	77
6000-8000			6	17	7	25	14	1		29
8000-10000				19		1		14		13
10000-12000				5		1		7		29
12000-14000				4		2		1		10
14000-16000				2		3				51
16000-18000						2				104
18000-20000						1				62
20000-22000						2				18
22000-24000						2				8
24000-26000						1				4
26000-28000						1				
28000-30000										
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1293</b>									

**Tabla 4:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 1 – Bernardo Soto Naranjo (peaje)

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	10	36	36	30	0	0	7	5	0	0
2000-4000		2	67	46	2	1	2	3	15	13
4000-6000		0	21	28	19	1	17	1	255	66
6000-8000		0	2	7	6	9	15	9		42
8000-10000		2		12	1	2		13		18
10000-12000				0		0		10		21
12000-14000				3		0				20
14000-16000						5				48
16000-18000						3				154
18000-20000						2				109
20000-22000						3				40
22000-24000						1				5
24000-26000						0				3
26000-28000						0				1
28000-30000						1				
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1295</b>									

**Tabla 5:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 1 – Bernardo Soto Esparza

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	23	121	125	83	1	0	2	1	0	0
2000-4000	1	8	170	118	10	13	10	7	29	9
4000-6000		0	42	73	81	6	48	35	159	115
6000-8000		1	4	24	23	28	2	4		45
8000-10000				25		3		11		14
10000-12000				10		1		4		17
12000-14000				6		2				15
14000-16000				1		7				38
16000-18000				1		16				61
18000-20000						7				35
20000-22000						8				10
22000-24000						13				10
24000-26000						8				4
26000-28000						3				3
28000-30000										
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1781</b>									

**Tabla 6:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 2 – Florencio del Castillo

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	151	105	106	73	0	0	15	10	0	0
2000-4000	1	3	86	86	8	9	10	13	5	0
4000-6000		0	19	34	49	5	44	21	43	22
6000-8000		0	2	12	18	27	13	16		21
8000-10000				4	2	6		11		10
10000-12000				2		2		9		3
12000-14000				0		2		2		7
14000-16000				2		3				11
16000-18000						0				18
18000-20000						2				3
20000-22000						4				1
22000-24000						2				
24000-26000						9				
26000-28000						5				
28000-30000						1				
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1154</b>									

**Tabla 7:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 2 – Pérez Zeledón

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	10	129	120	93	0	0	4	3	0	0
2000-4000		7	165	122	9	9	9	2	9	1
4000-6000		0	54	59	117	11	28	8	53	35
6000-8000		0	3	21	39	54	9	21		23
8000-10000				5	4	4		13		7
10000-12000				17		3		3		12
12000-14000				22		3				7
14000-16000				3		7				8
16000-18000						9				14
18000-20000						21				7
20000-22000						19				4
22000-24000						23				2
24000-26000						4				4
26000-28000						2				
28000-30000										
30000-32000										
<b>Total</b>	<b>1463</b>									

**Tabla 8:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 27 – Próspero Fernández

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	38	57	83	67	0	0	5	4	0	0
2000-4000		7	119	86	5	3	2	2	29	10
4000-6000		0	23	47	53	7	13	1	345	165
6000-8000		0	1	13	13	35	15	1	2	115
8000-10000				3	1	2		12		31
10000-12000				4		3		15		37
12000-14000				4		2				48
14000-16000				0		2				65
16000-18000				2		1				92
18000-20000						5				83
20000-22000						5				43
22000-24000						3				18
24000-26000						3				21
26000-28000						0				7
28000-30000						1				12
30000-32000										5
<b>Total</b>	<b>1950</b>									

**Tabla 9:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 32 – Braulio Carrillo

Carga	Pick-up	C2+	C2		C3		Bus C2		T3-S2	
	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem	Eje simple (1 llanta)	Eje simple (dual)	Eje simple (1 llanta)	Eje Tandem
0-2000	136	203	126	96	0	0	10	8	0	0
2000-4000	2	7	112	102	10	4	12	4	6	1
4000-6000			23	36	54	8	48	26	44	31
6000-8000			1	14	13	14	18	18		20
8000-10000				5	3	7		21		2
10000-12000				4		1		10		2
12000-14000				3		3		1		4
14000-16000				2		9				2
16000-18000						10				10
18000-20000						4				10
20000-22000						4				7
22000-24000						3				7
24000-26000						3				3
26000-28000						6				1
28000-30000						3				
30000-32000						1				
<b>Total</b>	<b>1363</b>									

**Tabla 10:** Frecuencia de vehículos encuestados en la Ruta 140 – San Carlos

### 3 INTERPRETACIÓN, EVALUACIÓN Y APLICACIÓN

#### 3.1.1 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.

De esta forma se presenta a continuación la tabla resumen que muestra los factores camión según la zona de estudio para los vehículos encuestados:

Ruta	Tipo de 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
<b>Promedio</b>		<b>0,012</b>	<b>0,046</b>	<b>0,751</b>	<b>2,458</b>	<b>2,907</b>	<b>3,230</b>
<b>Desviación estándar</b>		0,001	0,076	0,223	0,861	0,585	0,878

**Tabla 11:** Factores camión por ruta bajo estudio

Es importante comparar los valores obtenidos en la encuesta de carga con los factores camión típicos utilizados en otros países y además los utilizados por el MOPT-CONAVI.

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
<b>Carga liviana (C2+)</b>	-	-	0,003	0,002	0,003 - 0,017	0,39	<b>0,014 - 0,233</b>
<b>2 Ejes (C2)</b>	0,4	0,05 - 0,9	0,21	0,17	0,19 - 0,41	1,0	<b>0,446 - 1,163</b>
<b>3 Ejes (C3)</b>	0,4	0,05 - 0,9	0,61	0,61	0,45 - 1,26	1,45	<b>1,971 - 3,773</b>
<b>4 Ejes</b>	2,0	0,2 - 4,0	0,62	0,62	0,37 - 0,91	-	-
<b>5 Ejes (T3-S2)</b>	1,2	0,3 - 3,5	1,09	1,05	1,05 - 1,67	2,7	<b>2,102 - 4,229</b>
<b>&gt; 6 Ejes</b>	5,1	2,0 - 6,5	1,23	1,05	1,04 - 2,21	-	-

**Tabla 12.** Comparación de factores camión típicos y los obtenidos en la encuesta de carga

De la tabla anterior, 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 en las rutas hacia los muelles principalmente.

### **3.1.2 Ejes equivalentes de diseño**

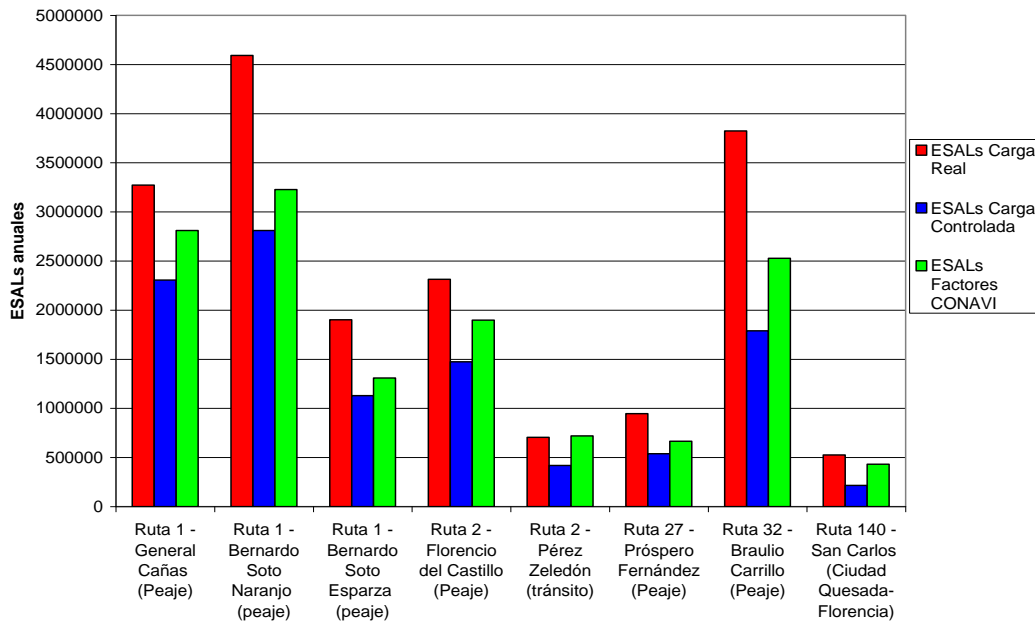
En el cálculo de los ejes equivalentes (ESALs) se parte de tres escenarios distintos con los tipos de vehículos encuestados para el año 2006 (periodo en que se tienen los datos de TPD y distribución vehicular de todas las rutas, generados a partir de la presente investigación):

- 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 la siguiente forma:

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
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0117</b>	<b>0,0258</b>	<b>0,465</b>	<b>1,706</b>	<b>1,098</b>	<b>1,705</b>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	<b>0,001</b>	<b>0,020</b>	<b>0,142</b>	<b>0,396</b>	<b>0,179</b>	<b>0,510</b>

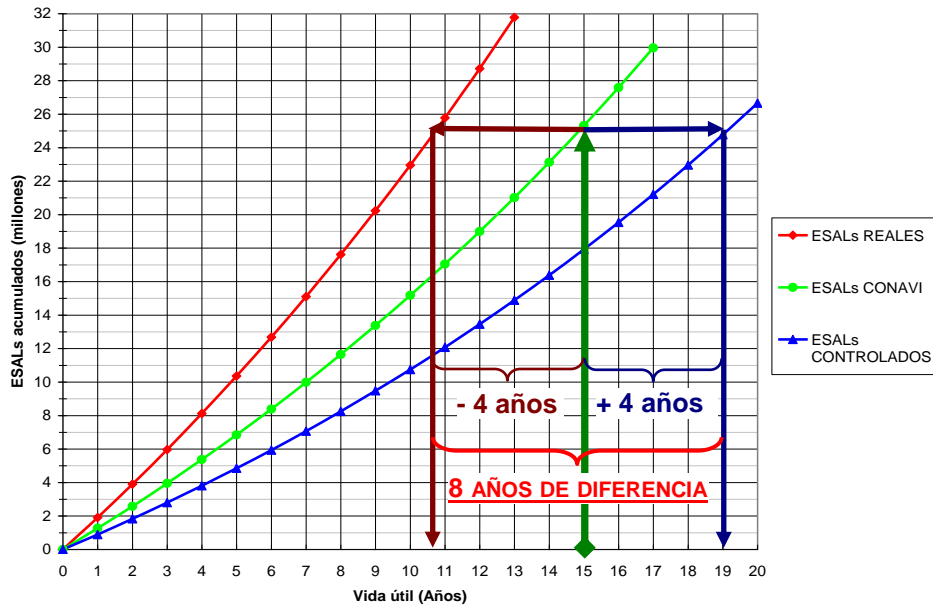
**Tabla 13.** Factor camión para las rutas bajo estudio con cargas controladas

De esta manera, se genera el **Gráfico 1** en donde se comparan los ESALs para los tres escenarios y todas las rutas bajo estudio.



**Gráfico 1.** Comparación de ejes equivalentes por ruta de estudio y factor camión

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 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 **Gráfico 2**.



**Gráfico 2.** Comparación de ejes equivalentes de diseño vs vida útil del pavimento

Del gráfico se infiere que si el MOPT-CONAVI diseña un pavimento utilizando los factores camión típicos para que cumpla un periodo 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.

### 3.1.3 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 2006) de la mano con conteos automáticos de una semana, para

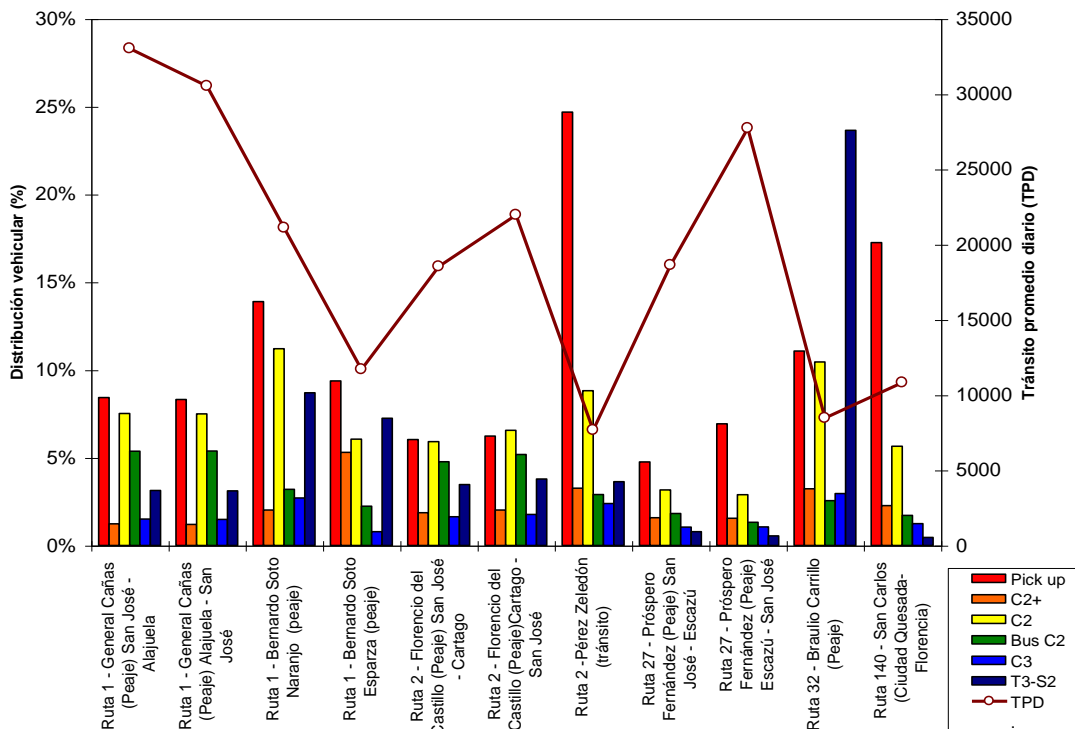


determinar el TPD con su respectiva distribución vehicular. Posteriormente estos valores fueron comparados y ajustados con el valor histórico de la zona de estudio. Obteniéndose los siguientes resultados:

Ruta - Sentido	Tipo de vehículo	Distribución vehicular						
		TPD	Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
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%

**Tabla 14.** TPD y distribución vehicular para las zonas de estudio

A continuación se presenta gráficamente 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.



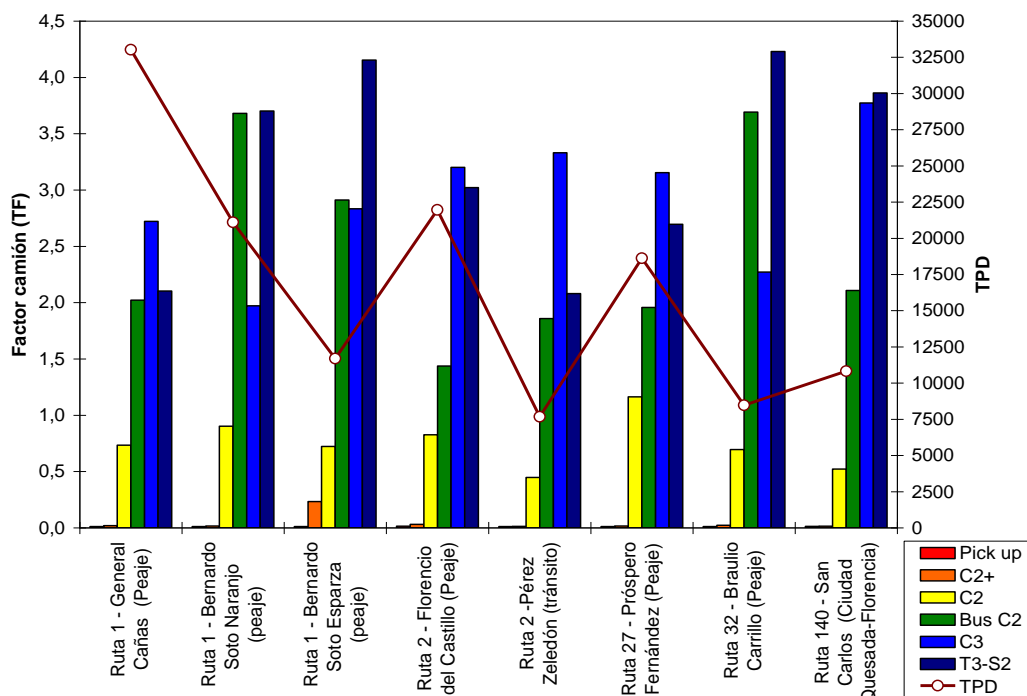
**Gráfico 3.** TPD y distribución vehicular por zona de estudio

En el gráfico anterior, 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.



**Gráfico 4.** Relación del factor camión y el TPD por zona de estudio

En el **Gráfico 4** se presenta la relación del tránsito promedio diario con el factor camión bajo 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 anterior, se observa que tanto la Ruta 32 como la 1 presentan los mayores factores camión para el vehículo T3-S2, el cual corresponden al vehículo más común para el transporte de mercancías.

Además, se observa que dentro de la 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.

#### **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.

## REFERENCIAS

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. María Fernanda García, “Variable Tránsito Colombiana para el Diseño de Pavimentos según AASHTO 2002”. Pontificia Universidad Javeriana, Epíclidos, 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.