



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte

(PITRA)

Proyecto: LM-PI-UIIT-119-2020-R1

DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES CAMIÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS ASOCIADOS A ENCUESTAS DE CARGA Y ESTACIONES DE PESAJE EN COSTA RICA EN EL PERÍODO 2007-2017

Preparado por:

Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Agosto, 2020

Página en blanco



1. Informe		LM-PI-UIIT-119-2020-R1	2. Copia No.		1
3. Título y subtítulo: Determinación de factores camión para pavimentos rígidos asociados a encuestas de carga y estaciones de pesaje en Costa Rica en el período 2007-2017			4. Fecha del Informe: Agosto, 2020		
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. Notas complementarias					
7. Resumen El factor camión es uno de los componentes principales en la estimación de la demanda de cargas que tendrá el pavimento de una carretera. Contar con factores camión confiables es de suma importancia durante la etapa de diseño. En el presente estudio se recopiló y analizó las bases de datos sobre pesajes registrados entre los años 2007 y 2017 por el LanammeUCR y el MOPT, donde se contó con más de 15 millones de vehículos pesados, distribuidos en diferentes rutas del país; a partir de estos pesajes se calcularon los valores recomendados para los factores camión para pavimentos rígidos. Dada la necesidad de disponer de factores camión para pavimentos rígidos que consideren la realidad nacional, tanto en la época sin control como después de esta, se propone generar factores camión para pavimentos rígidos que estén asociados a un nivel de confiabilidad específico y que, además, consideren la cantidad de vehículos que contribuyen en la estimación del factor camión. Los factores camión para pavimentos rígidos determinados en el presente informe, contemplan la variabilidad interanual que existe actualmente y pondera dichos factores dando mayor peso a los factores estimados con mayor cantidad de vehículos. Además, brinda una serie de recomendaciones con el propósito de contar con factores camión para pavimentos rígidos más detallados.					
8. Palabras clave Pesaje, factor camión, confiabilidad		9. Nivel de seguridad: Ninguno		10. Núm. de páginas: 42	
11. Preparado por: Ing. Jaime Allen Monge, PhD Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte _____ Fecha: / /					
12. Revisado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte _____ Fecha: / /		13. Aprobado por: Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, MSc Coordinadora General PITRA _____ Fecha: / /			



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	SITUACIÓN ACTUAL.....	9
1.2	ANTECEDENTES	10
1.3	JUSTIFICACIÓN	11
1.4	OBJETIVO GENERAL	12
1.5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.6	MARCO TEÓRICO.....	12
1.7	ALCANCES	14
1.8	LIMITACIONES	15
2	RESULTADOS Y ANÁLISIS	15
3	CONCLUSIONES	27
4	RECOMENDACIONES	28
5	REFERENCIAS	29
ANEXOS	31
	RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN POR AÑO, RUTA Y TIPO DE VEHÍCULO.....	31
	DISTRIBUCIONES PORCENTUALES POR RUTAS Y TIPOS DE VEHÍCULOS.	39



ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. TIPOS DE VEHÍCULOS CONSIDERADOS EN EL INFORME	17
CUADRO 2. TIPOS DE VEHÍCULOS CONSIDERADOS EN EL INFORME (CONTINUACIÓN)	18
CUADRO 3. MUESTRA DE CÁLCULO DE FACTORES CAMIÓN RÍGIDOS Y FLEXIBLES PARA LOS VEHÍCULOS TIPO C3 Y C4	20
CUADRO 4. MUESTRA DE CÁLCULO DE FACTORES CAMIÓN RÍGIDOS Y FLEXIBLES PARA LOS VEHÍCULOS TIPO T3-S2 Y T3-S3	21
CUADRO 5. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS RECOPIADOS	24
CUADRO 6. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN ESTIMADOS (2007-2017) Y VALORES UTILIZADOS POR EL MOPT	25
CUADRO A.1. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS DE LA RUTA SAN JOSÉ-LIMÓN	31
CUADRO A.2. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS DE LA RUTA LIMÓN-SAN JOSÉ	31
CUADRO A.3. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS DE LA RUTA CAÑAS	32
CUADRO A.4. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS DE LA RUTA SAN JOSÉ-OCHOMOGO	32
CUADRO A.5. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS DE LA RUTA CARTAGO-SAN JOSÉ	32
CUADRO A.6. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA DISTINTOS AÑOS EN PASO CANOAS	33
CUADRO A.7. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS PARA LOS DATOS DE LA ENCUESTA DE CARGA 2007	33
CUADRO A.8. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN Y PORCENTAJE DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS DEL TOTAL DE DATOS UTILIZADOS PARA DICHO CÁLCULO EN LA RUTA SAN JOSÉ-LIMÓN	34
CUADRO A.9. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN Y PORCENTAJE DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS DEL TOTAL DE DATOS UTILIZADOS PARA DICHO CÁLCULO EN LA RUTA LIMÓN-SAN JOSÉ	35



CUADRO A.10. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN Y PORCENTAJE DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS DEL TOTAL DE DATOS UTILIZADOS PARA DICHO CÁLCULO EN LA RUTA DE CAÑAS 36

CUADRO A.11. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN Y PORCENTAJE DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS DEL TOTAL DE DATOS UTILIZADOS PARA DICHO CÁLCULO EN LA RUTA SAN JOSÉ-CARTAGO (OCHOMOGO)..... 37

CUADRO A.12. RESUMEN DE FACTORES CAMIÓN Y PORCENTAJE DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS DEL TOTAL DE DATOS UTILIZADOS PARA DICHO CÁLCULO EN LA RUTA CARTAGO-SAN JOSÉ 38

CUADRO A.13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR RUTAS SEGÚN LA CANTIDAD TOTAL DE CADA TIPO DE VEHÍCULOS..... 39

CUADRO A.14. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR RUTAS SEGÚN LA CANTIDAD TOTAL DE VEHÍCULOS ENCUESTADOS..... 41



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL INFORME.....	16
FIGURA 2. VARIACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FACTORES CAMIÓN PARA LA RUTA 32 EN EL SENTIDO LIMÓN-SAN JOSÉ PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS.....	22
FIGURA 3. VARIACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FACTORES CAMIÓN PARA EN EL SENTIDO SAN JOSÉ-CARTAGO (OCHOMOGO) PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE VEHÍCULOS	23
FIGURA 4 . FACTOR CAMIÓN PARA EL 85% DE NIVEL DE CONFIANZA Y RANGOS DEL MOPT PARA LOS VEHÍCULOS C2, BUS C2, C3, C4, T3-S2 Y T3-S3	25
FIGURA 5 . FACTOR CAMIÓN PARA EL 85% DE NIVEL DE CONFIANZA Y RANGOS DEL MOPT PARA LOS VEHÍCULOS TIPO C2+ Y PICKUP	26

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 7 de 42
--------------------------------	--------------------------------	----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página en blanco

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1

Fecha de emisión: Agosto, 2020

Página 8 de 42

Tel.: +506 2511-2500 | direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr
Dirección: LanammeUCR, Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica
Código Postal: 11501-2060, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica



-ANIVERSARIO-
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Nuestra
salud mental
importa

1 Introducción

1.1 Situación actual

En la actualidad, el país no cuenta con ningún pronunciamiento oficial de MOPT sobre valores recomendados de factores camión para diseño de pavimentos rígidos. En el presente informe se calculan valores recomendados para los factores camión en pavimentos rígidos acorde con la realidad nacional de cargas que transitan por las estructuras de pavimento. Dado que actualmente solo se cuenta con un pronunciamiento sobre valores recomendados de factores camión para pavimentos flexibles, estos valores se toman en consideración como valores de referencia comparativos para efectos de pavimentos rígidos. Se aclara que las fórmulas de cálculo para ambos tipos de factores camión son distintas.

Los factores camión que se utilizan actualmente en el país para el diseño de sobrecapas asfálticas (pavimentos flexibles) y rehabilitaciones siguen las recomendaciones del oficio DVOP-5170-07, elaborado en el año 2007 por el señor Pedro Castro Fernández, viceministro del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de ese momento. Dicho oficio indica que se basa a su vez en la encuesta de cargas del año 2007. Los valores recomendados para pavimentos flexibles han sido muy utilizados y siguen en vigencia puesto que ha sido el último pronunciamiento de la Administración respecto del tema de factores camión.

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) ha realizado estudios sobre el tema de cargas vehiculares con el fin de generar insumos de diseño actualizados y que representen en mejor manera las condiciones reales y actuales de carga a las cuales se ven sometidas las estructuras de pavimento. Es por este motivo que los esfuerzos del LanammeUCR van enfocados hacia el cálculo de factores camión para pavimentos rígidos que puedan ser utilizados como insumos por la Administración, y sobre todo entrar en una dinámica de actualización continua que permita utilizar factores camión (rígidos y flexibles) adecuados a la flota vehicular del país y por lo tanto permitan obtener diseños más confiables.

Se agradece la participación del estudiante Allan Ureña Bermúdez, en su calidad de asistente del Programa de Infraestructura de Transporte, en el desarrollo de esta investigación para la determinación de los factores camión para pavimentos rígidos de Costa Rica.

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 9 de 42
--------------------------------	--------------------------------	----------------

1.2 Antecedentes

Los antecedentes en el tema de factores camión para pavimentos rígidos en Costa Rica son escasos. Sin embargo, dado que el objetivo del presente informe es obtener valores de factores camión para pavimentos rígidos a partir de las distintas cargas registradas en el período de estudio, 2007-2017, se toman en cuenta como antecedentes aquellos proyectos que han recopilado todos estos registros para los distintos objetivos, como determinar factores camión para pavimentos flexibles.

En el año 2007 se realizó un estudio relevante acerca de la *Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica* (Allen, Badilla y Ulloa, 2007), que parte de la necesidad de contar con una encuesta de carga propia para el país, con el objetivo de determinar la magnitud de cargas que transitan realmente por las carreteras. Con este estudio se concluyó que los factores camión utilizados hasta el momento para ocho rutas del país, subestimaban el peso real de los vehículos que atraviesan las carreteras de Costa Rica.

En el año 2009 se elaboró otro estudio denominado *Incidencia de las Estaciones de Pesaje Móvil en los Factores Camión en Pavimentos de Costa Rica* (Badilla & Molina, 2009). Este estudio se realizó con el objetivo general de evaluar las variaciones en los factores camión, antes y después de la implementación del control de pesaje en el uso de estaciones de pesaje móvil. Los resultados obtenidos se basaron en las estaciones de pesaje móvil implementadas por el MOPT y CONAVI, que evidenciaron, principalmente, la importancia de controlar las cargas de los vehículos, esto porque cuando existen controles de carga se generan importantes reducciones en los valores del factor camión, lo que permite una mejora de la vida útil de los pavimentos. Además, se obtuvo como conclusión que los factores camión encontrados fueron menores a los que existían antes del año 2007. También se determinó que existía una tendencia a estabilización de las cargas vehiculares dentro del rango permitido en la legislación, esto producto de mayores controles de cargas (Allen et al, 2019).

En el proyecto de trabajo final de graduación para optar por el grado de licenciatura en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica desarrollado en conjunto con el LanammeUCR por Espinoza (2013), 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 pavimento.

Por último, en el año 2018 el LanammeUCR elabora el informe denominado *Evaluación de parámetros y metodología utilizada en los diseños de pavimentos realizados bajo el marco de licitación pública 2014LN-000018-0CV00*. Este informe es importante para el presente trabajo pues ratifica que los valores que están siendo actualmente utilizados por los diseñadores se encuentran desactualizados.

Por ello, el presente estudio es uno de los esfuerzos que sigue el LanammeUCR en la línea de investigación de los factores camión para diseño de pavimentos en Costa Rica. Esta incluye una actualización de los factores camión basándose en la información disponible para la institución al mes de diciembre del año 2017, y que brinda finalmente valores recomendados para pavimentos rígidos que se ajustan a la realidad de cargas que transitan por las carreteras nacionales.

1.3 Justificación

La vida útil de una estructura de pavimento rígido se puede ver comprometida por diversos factores, entre ellos: las condiciones extremas del medio ambiente que la rodean, características de los materiales que la componen, la cantidad de vehículos que transitan por la estructura, su proceso constructivo, entre otros. Sin embargo, el aspecto más importante es el daño que genera la carga de los vehículos en las estructuras de pavimento.

Se entiende que los vehículos pesados son aquellos que generan mayor daño a una estructura de pavimento, de hecho, se ha demostrado que cuando se genera un incremento de carga más allá de lo permitido, el daño crece de manera exponencial (Allen, 2014).

Cuando no se precisan las cargas que transitan por las vías, los diseños no son óptimos, se incurre en sobre diseños que son resistentes, pero tienen un costo elevado o diseños en los que su resistencia es menor que la demanda a la cual van a ser sometidos y por ende esta resistencia disminuirá durante su vida útil.

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 11 de 42
--------------------------------	--------------------------------	-----------------

Por lo tanto, conocer y controlar las cargas vehiculares es relevante para el diseño de pavimentos rígidos y para un adecuado aprovechamiento de la vida útil de estas estructuras, razón por la cual en este estudio se pretende brindar factores camión actualizados que representen la realidad actual de las cargas de la red vial nacional.

1.4 Objetivo general

Determinar factores camión para diseño de pavimentos rígidos acordes con la realidad nacional de carga a partir de los registros de carga obtenidos por el LanammeUCR y el MOPT, por medio de encuestas de carga, y las estaciones de pesaje, y proyectos de graduación.

1.5 Objetivos específicos

- Recopilar las bases de datos utilizadas en los diferentes proyectos asociados a encuestas de carga, estaciones de pesaje, y proyectos de graduación.
- Estimar factores camión ponderados para pavimentos rígidos asociados a la cantidad de vehículos pesados en los diferentes estudios utilizados como insumo.
- Generar una serie de factores camión para diseño de pavimentos rígidos por tipo de vehículo que tomen en consideración los diferentes valores históricos y que estén asociados a un nivel de confianza determinado.

1.6 Marco teórico

En Costa Rica, actualmente para diseñar una estructura de pavimento rígido se aplica la metodología de la guía de diseño AASTHO 93, en el método 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 magnitudes y formas en que se transmiten las cargas.

Esta homogenización se logra mediante la determinación de Ejes Equivalentes de Carga que toman en cuenta las diferencias del tránsito que circula por el pavimento y las unifica en una carga única de referencia: los Ejes Equivalentes de Carga (ESALs por sus siglas en inglés “*Equivalent Single Axle Loads*”). Los ESALs permiten evaluar el daño relativo del paso de un

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 12 de 42
--------------------------------	--------------------------------	-----------------

tipo de eje y carga cualquiera, en relación con el daño de un eje simple estándar; en Costa Rica un ESAL es equivalente al daño que genera un eje simple dual de 80 kN o bien, 18 000 lb (Badilla y Molina, 2009).

Para determinar los ESALs, se deben conocer otros parámetros: los factores camión y los factores equivalentes de carga. Los factores de equivalencia de carga (LEF, por sus siglas en inglés) 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, trídem), espesor, número estructural y serviciabilidad final (Badilla y Molina, 2009).

Los factores camión para pavimentos rígidos que se presentan en el presente informe fueron obtenidos a través de la herramienta *FC_Rígidos.R* elaborada por la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR en el año 2019. Esta herramienta utiliza la fórmula [1] para obtener los factores LEF para cada uno de los vehículos de la base de datos de ingreso, de manera que a partir del peso de cada uno de los ejes del vehículo se obtiene el factor exacto asociado. La utilización de esta metodología de cálculo permite obtener resultados más precisos.

Para el cálculo de los factores de equivalencia de carga se utilizó la fórmula [1] que especifica la AASTHO 93, la misma se muestra a continuación:

$$LEF = \frac{1}{\left(\frac{18+1}{L_x+L_2} \right)^{4,62} * \left(\frac{G_t}{10^{B_x}} \right) * (L_2)^{3,28} * \left(\frac{G_t}{1 + \frac{3,63(18+L_2)^{5,2}}{(D+1)^{8,46} * 1^{3,52}}} \right)} \quad [1.1]$$

$$G_t = \log \left(\frac{4,5-p_t}{4,5-1,5} \right) \quad [1.2]$$

$$B_x = 1 + \frac{3,63(L_x+L_2)^{5,2}}{(D+1)^{8,46} * L_2^{3,52}} \quad [1.3]$$

Donde:

D : Espesor de losa en pulgadas ($D=10$ in)

L_x : Carga sobre un eje sencillo, un eje tándem o un eje trídem en kips.

L_2 : Código de eje: 1 para eje sencillo, 2 para tándem y 3 para trídem.

p_t : Índice de serviciabilidad final, que indica que las condiciones del pavimento se encuentran como falladas ($p_t=2,5$).

G_t : Función de p_t .

Una vez determinados los factores de equivalencia de carga, se pueden calcular los factores camión (FC). Estos permiten conocer el daño que los ejes de cada vehículo le generan al pavimento.

$$FC \text{ promedio} = \frac{[\Sigma(\text{número de ejes} \cdot LEF)]}{\text{Número de vehículos encuestados}} \quad [2]$$

1.7 Alcances

Para la estimación de los factores camión se utilizan las bases de datos que ha recopilado el LanammeUCR mediante encuestas de carga en proyectos propios o datos brindados por el MOPT, asociados a las estaciones de pesaje que operan en las distintas rutas de la red vial nacional y que han sido procesados en el LanammeUCR. De manera que, se incluyen en el análisis del presente informe las bases de datos asociadas al año 2007 y las asociadas al período que comprende los años 2008-2017.

En el presente informe se realiza el cálculo de los factores camión para diseño de pavimentos rígidos y se toma en consideración los factores camión calculados cada año y la cantidad de vehículos que fueron considerados en cada uno de los estudios previamente realizados.

En este proyecto se pretenden brindar una serie de factores camión para diseño de pavimentos rígidos generales para el país utilizando las bases de datos disponibles (encuestas de carga, estaciones de pesaje y proyectos de graduación), que estén asociados a un nivel de confianza que permita contar con factores camión acordes con la realidad nacional, sin dejar de lado el comportamiento histórico de los mismos.

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 14 de 42
--------------------------------	--------------------------------	-----------------

1.8 Limitaciones

Los factores camión estimados en el presente informe son aplicables a diseños de pavimentos rígidos ya que utilizan como referencia los factores equivalentes de carga asociados a este tipo de pavimentos.

Los diferentes estudios considerados obedecen a distintas realidades nacionales asociadas a épocas donde existió un mayor o menor control de las cargas que transitan por las carreteras de Costa Rica, sin embargo, ambas realidades aportan información valiosa al presente estudio dado que en Costa Rica son pocas las rutas que tienen control de cargas.

La cantidad de rutas consideradas es limitada (cerca de 12 rutas), sin embargo, los estudios se han enfocado en capturar el comportamiento de carga en diferentes rutas del país y la cantidad total de los vehículos considerados asciende a 15.661.601 vehículos pesados.

2 Resultados y análisis

Metodología

Para obtener valores recomendados de los factores camión para diseño de pavimentos rígidos se siguieron las siguientes etapas metodológicas (ver Figura 1).

- En la primera etapa se recopilaron las bases de datos disponibles y pertinentes para el estudio en cuestión. Las bases de datos provienen de dos principales fuentes, las bases de datos del LanammeUCR y las bases de datos generadas y procesadas por el MOPT-Lanamme. La encuesta de carga del LanammeUCR fue generada en el año 2007 con datos de pesajes realizados en la Ruta 1, Ruta 2, Ruta 27, Ruta 32 y la Ruta 140. Para estas rutas se consideraron los siguientes tipos de vehículos: liviano, C2, Bus C2, C2+, C3 y T3-S2. Por otra parte, se tienen los datos recopilados a través de las estaciones de pesaje, para la Ruta 32 (2008-2017), Ruta 1 y Ruta 2 (2009-2017) se analizaron los vehículos tipo C2, C3, C4, T3-S2 y T3-S3. Y para la Ruta 32, Ruta 1 y Ruta 2 (2008-2011) se analizaron los tipos de vehículos T2-S1 y T3-S1. Para las bases de datos anteriormente mencionadas luego de hacer el registro y análisis por cantidad

de vehículos se hizo el cálculo de los factores camión para pavimento rígido asociado a cada una de las cargas registradas.

- Una vez obtenidos los valores de factores camión se hizo una revisión de la variación interanual de los factores camión, así como de la variabilidad de los datos en general.
- Luego, se realizó el análisis de los datos, se hizo una estadística descriptiva, una ponderación de los factores camión y se realizó una estimación de los límites de predicción de los factores camión para pavimentos rígidos. Para las rutas de bajo tráfico (<5.000 veh/día), medio tráfico (5.000 – 15.000 veh/día) y alto tráfico (15.000 – 40.000 veh/día) se hacen pruebas de sensibilidad de los datos y se hace una comparación de los valores obtenidos con los valores de los factores camión que se manejan actualmente, que son para pavimentos flexibles. Finalmente, se presentan los factores camión para pavimentos rígidos recomendados para el entorno nacional.

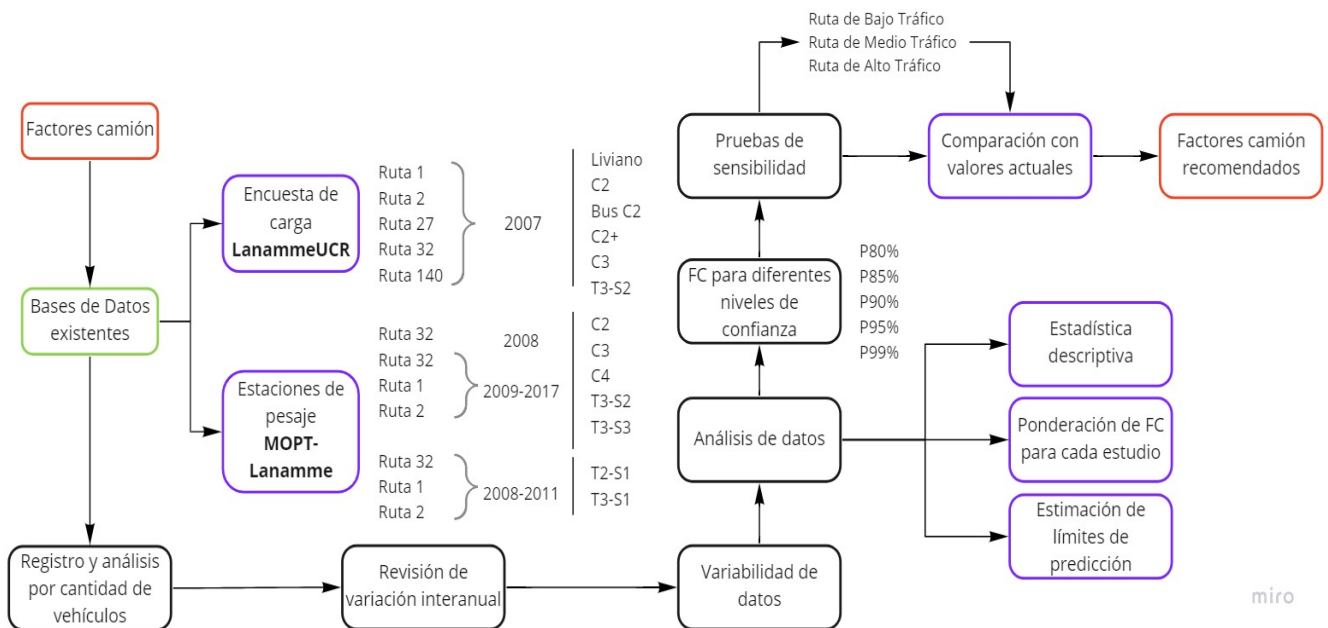


Figura 1. Esquema metodológico del informe

A partir del análisis y estudio de las bases de datos generadas sobre factores camión para pavimentos rígidos se obtienen los siguientes resultados. Estos se basan en el análisis de 15.661.601 vehículos que se clasifican en las siguientes 8 categorías *pick-up*, C2, Bus C2,



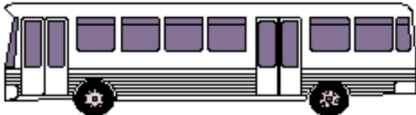

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 16 de 42
--------------------------------	--------------------------------	-----------------



C2+, C3, C4, T3-S2, y T3-S3 (ver Cuadro 1 y Cuadro 2) para cuatro rutas nacionales las cuales se componen de una ruta nacional de tránsito bajo (Paso Canoas, RN2), dos rutas de medio tráfico (RN32 sentido Limón-San José y San José-Limón y RN2 sentido Ochomogo-San José y San José-Ochomogo) y una ruta de tránsito alto (Cañas, RN1).





Dado que el objetivo del presente informe es brindar factores camión para diseño de pavimentos rígidos asociado a un valor de confianza específico, se da un mayor peso a los factores camión que han sido calculados mediante estaciones de pesaje, dado que estas cuentan con una mayor cantidad de datos (registro de vehículos). En contraparte, por ejemplo, la encuesta de carga del 2007 registró una gran cantidad de rutas, pero la cantidad de vehículos fue limitada, debido a que el pesaje se realizó de forma manual, vehículo por vehículo. Esto ofreció una gran ventana de observación, sin embargo, se obtuvieron valores extremos de factor camión, ya que, por la época, este corresponde al escenario más pesimista por no disponerse de un control de pesos y dimensiones por parte de la Administración.

Cuadro 1. Tipos de vehículos considerados en el informe

Tipo de vehículo	Ilustración del tipo de vehículo
Pickup	
C2: Camión con eje dual trasero	
Bus-C2: Bus con eje dual trasero	
C2+: camión con eje simple trasero	

Fuente: Allen et al., 2007

Cuadro 2. Tipos de vehículos considerados en el informe (continuación)

Tipo de vehículo	Ilustración del tipo de vehículo
C3: camión con eje tándem trasero	
C4: camión con eje trídem trasero	
T3-S2: camión con eje tándem trasero	
T3-S3: camión con eje trídem trasero	

Fuente: Allen et al., 2007

A partir del análisis de la información disponible, se identifica que la estimación de factores camión para el tipo de vehículos C2 son mayoritariamente aportados por pesajes realizados en las rutas San José-Cartago y Cartago-San José; en cuanto que la mayor cantidad de registros de los vehículos T3-S2 y T3-S3 (correspondiente a vehículos articulados de 5 y 6 ejes respectivamente), fueron recopilados principalmente en la Ruta 32 (Limón- San José, y San José-Limón).

Este comportamiento se puede apreciar mejor en el Cuadro A.13. Este cuadro muestra la distribución porcentual por rutas según la cantidad total de vehículos encuestados por cada tipo de vehículo, es decir, permite observar según la ruta y el período en donde se registra un mayor aporte para un tipo de vehículo dado.

De forma análoga, en el Cuadro A.14 se muestra la distribución porcentual por rutas según la cantidad total de vehículos encuestados. Es decir, en este caso se presenta con colores más oscuros las rutas y períodos que representan más peso en la cantidad total de vehículos. Por

Informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1	Fecha de emisión: Agosto, 2020	Página 18 de 42
--------------------------------	--------------------------------	-----------------

ejemplo, en el cuadro se muestra que la encuesta de carga tiene muy poco peso respecto a la cantidad total de vehículos encuestados, las rutas que presentan un registro continuo pasan a tener mayor peso, que en este caso corresponde a los vehículos C2 en la ruta de Cartago en ambos sentidos y a los vehículos pesados articulados de la Ruta 32, en ambos sentidos.

En el Cuadro 3 y Cuadro 4 se presenta una muestra de cálculo que ejemplifica el cálculo de factores camión para pavimentos rígidos y flexibles utilizando la fórmula [1] (para pavimentos rígidos) para los vehículos C3, C4, T3-S2 y T3-S3. Los cuadros antes mencionados contienen los factores LEF para cada eje en 4 de los 5 vehículos estudiados, los mismos fueron obtenidos a través de la herramienta *FC_Rígidos.R* elaborada por la unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR en el año 2019.

En el Cuadro 3 y Cuadro 4 se muestra el cálculo de los factores camión para ambos tipos de pavimentos para pesos equivalentes. Se aprecia que los factores camión para pavimentos rígidos son mayores en los 4 tipos de vehículos presentados, sin embargo, esto se debe a que las fórmulas para el cálculo de los factores LEF son distintas para cada tipo de pavimento. Para el vehículo tipo C2 las diferencias entre ambos tipos de pavimentos no son tan marcadas como sí lo son en los demás tipos de vehículos (por los tipos de ejes que los conforman). En la muestra de cálculo mostrada anteriormente se tiene que para el vehículo tipo C3 existe una diferencia entre el factor camión rígido y el factor camión flexible de 34 %, en el vehículo C4 la diferencia porcentual es de 101 % mayor, en el T3-S2 es de 73 % mayor para el caso de pavimento rígido y en el vehículo T3-S3 es de 125 % mayor para el caso de pavimento rígido.

A partir de los datos recolectados desde el año 2008 se muestran gráficas que permiten observar el comportamiento de los factores camión a través de los años. En la Figura 2 y la Figura 3, se muestra el ejemplo de dos rutas en donde se observa el comportamiento general para cada tipo de vehículo. En general se aprecia que, pese al establecimiento de estaciones de control de pesaje, aún no se tiene una clara tendencia a la estabilización para los factores camión en los distintos tipos de vehículos.

Cuadro 3. Muestra de cálculo de factores camión rígidos y flexibles para los vehículos tipo C3 y C4

Tipo de pavimento	Pavimento flexible		Pavimento rígido	
Vehículo tipo C3				
Tipo de vehículo				
Tipo de eje	I	II	I	II
Peso del eje (Ton)	5,97	11,52	5,97	11,52
Factor equivalente de carga (LEF)	0,28	0,33	0,26	0,56
Factor camión (FC)	0,61		0,82	
Vehículo tipo C4				
Tipo de vehículo				
Tipo de eje	I	III	I	III
Peso del eje (Ton)	6,29	20,86	6,29	20,86
Factor equivalente de carga (LEF)	0,35	0,87	0,32	2,14
Factor camión (FC)	1,22		2,46	

Cuadro 4. Muestra de cálculo de factores camión rígidos y flexibles para los vehículos tipo T3-S2 y T3-S3

Tipo de pavimento	Pavimento flexible			Pavimento rígido		
Vehículo tipo T3-S2						
Tipo de vehículo						
Tipo de eje						
Peso del eje (Ton)	3,87	14,45	13,81	3,87	14,45	13,81
Factor equivalente de carga (LEF)	0,04	0,84	0,70	0,04	1,48	1,22
Factor camión (FC)	1,58			2,74		
Vehículo tipo T3-S3						
Tipo de vehículo						
Tipo de eje						
Peso del eje (Ton)	4,53	16,00	18,75	4,53	16,00	18,75
Factor equivalente de carga (LEF)	0,09	1,27	0,29	0,08	2,28	1,36
Factor camión (FC)	1,65			3,72		



Además, también es importante considerar que entre el año 2008 y 2013 las mediciones no se hacían durante las 24 horas del día, por lo que podría haber un flujo de vehículos pesados no considerado en las estimaciones. Esto hace que actualmente sea difícil hacer proyecciones sobre los factores camión y sobre todo hace necesario tomar en cuenta un valor de confianza del resultado final del factor camión brindado asociado a la desviación estándar que las observaciones tienen.

Dado que los resultados varían año a año, se determinó la importancia de analizar todo el espectro de datos disponibles, en el Cuadro 5 se adjunta una estadística descriptiva de los datos. De manera general, se puede decir que los valores para los diferentes tipos de vehículos tienen rangos bastante altos, es decir, tienen una gran separación entre su valor máximo y su valor mínimo, esto asociado también a una alta distancia promedio entre todos los valores y el valor medio (desviación estándar).

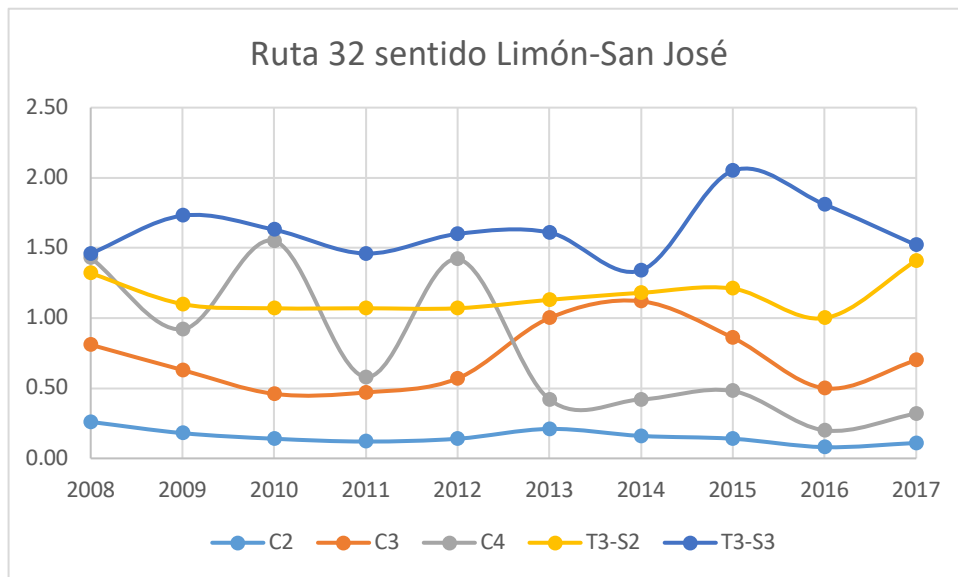


Figura 2. Variación del comportamiento de los factores camión para la ruta 32 en el sentido Limón-San José para los diferentes tipos de vehículos

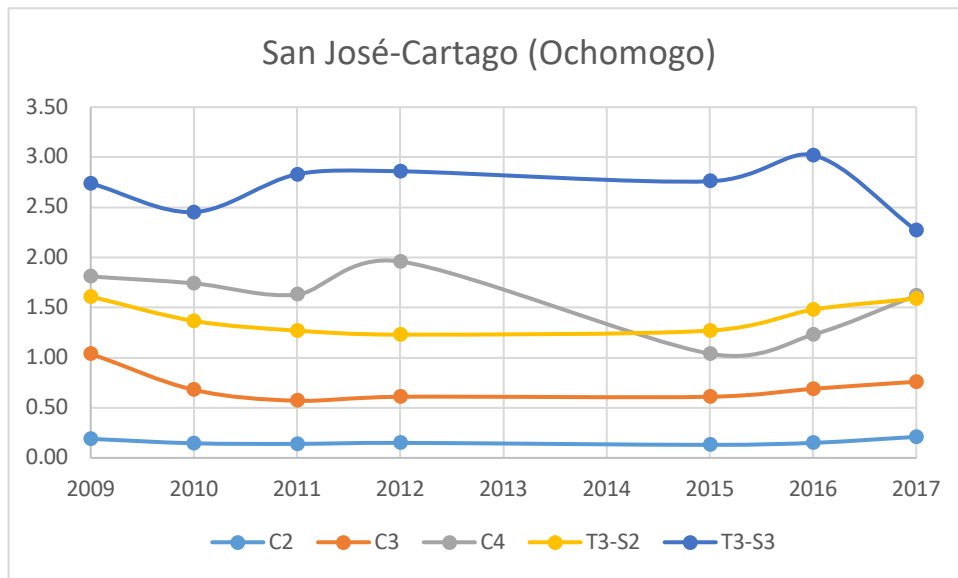


Figura 3. Variación del comportamiento de los factores camión para en el sentido San José-Cartago (Ochomogo) para los diferentes tipos de vehículos

Esta variación se puede apreciar también mediante el coeficiente de variación que expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética. Mediante el coeficiente de variación se muestra el grado de variabilidad independientemente de cuál sea la escala de la variable, a diferencia de la desviación estándar. En el Cuadro 5 es posible apreciar que, por ejemplo, pese a que la media de los vehículos tipo C2 es 0,27 esta tiene un coeficiente de variación de 99,5 %.

Los altos valores del coeficiente de variación se interpretan **como que la media aritmética no es representativa para un conjunto de datos** y esto sucede porque se cuenta con una desviación estándar considerable. Específicamente para el análisis en cuestión se puede decir que la media aritmética no es representativa, pues pese a que se cuenta con cerca de 14 años de mediciones los valores de los factores camión aún no cuentan con una tendencia definida y tienen una alta variabilidad.

Para el caso de estudios posteriores, la cantidad de años a considerar podría cambiar, si se encuentra que los valores de factores camión comienzan a seguir una tendencia definida. Actualmente, debido a que los datos cuentan con una alta variabilidad, se decide aplicar el

componente probabilístico con intervalos y límites de predicción (Ryan, 2007) a la matriz general de datos, que se asociará a un nivel de confianza como se detalla más adelante.

Cuadro 5. Descripción estadística de los datos recopilados

Tipo de Vehículo	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación	Rango	Mínimo	Máximo
C2	0,27	0,16	0,14	0,27	0,07	99,5 %	1,27	0,08	1,35
C2+	0,08	0,02	0,01	0,17	0,03	216,0 %	0,48	0,01	0,49
C3	1,37	0,75	0,61	1,58	2,51	115,9 %	6,34	0,40	6,73
C4	1,47	1,43	0,42	0,77	0,59	52,2 %	3,24	0,20	3,44
Bus C2	2,63	2,17	-	0,99	0,99	37,8 %	2,62	1,46	4,08
Pickup	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,0 %	0,00	0,01	0,02
T3-S2	2,37	1,66	1,07	1,66	2,74	69,7 %	6,76	1,00	7,76
T3-S3	2,81	2,89	1,46	0,85	0,72	30,1 %	3,07	1,34	4,41

Como se mencionó en líneas previas, el propósito del presente informe fue calcular factores camión para pavimentos rígidos y darle un peso adecuado según la cantidad de vehículos encuestados o utilizados para realizar el cálculo, para con ello obtener una serie de factores camión para pavimentos rígidos ponderados por tipo de vehículo. Adicionalmente, se utilizó la desviación estándar de los valores globales por tipo de vehículo y con esto se calcularon una serie de factores que cumplen un nivel de confianza específico, según el siguiente modelo.

$$FC_{VjPi} = FC_{Vj} + \sigma_j Z_i \quad [3]$$

Donde:

- FC_{VjPi} = Factor camión para el vehículo “j”, dado un nivel de confianza “i”.
- FC_{Vj} = Factor camión ponderado para el vehículo “j”.
- σ_j = Desviación normal estándar para el vehículo “j”.
- Z_i = valor de z asociado a un nivel de confianza “i”, para la distribución normal estándar.

Como resultado final se tiene un resumen con los factores camión para pavimentos rígidos a distintos niveles de confianza (ver Cuadro 6), y la Figura 4 y 5 muestran de manera gráfica la posición de los valores calculados (para pavimentos rígidos), respecto a los valores máximos

y mínimos que propone el MOPT (para pavimentos flexibles). Es de gran importancia mantener factores camión actualizados y que se ajusten a las necesidades de carga del país.

Cuadro 6. Resumen de factores camión estimados (2007-2017) y valores utilizados por el MOPT

Vehículo	Factor Camión para pavimentos rígidos propuesto para diferentes niveles de confianza					Valores MOPT para pavimentos flexibles		
	80%	85%	90%	95%	99%	Mínimo MOPT	Máximo MOPT	Promedio
Pickup	0,013	0,014	0,014	0,015	0,017	0,010	0,020	0,010
C2	0,374	0,426	0,491	0,587	0,768	0,260	0,630	0,470
Bus C2	3,214	3,408	3,652	4,014	4,692	1,250	2,290	1,710
C2+	0,183	0,216	0,257	0,318	0,432	0,010	0,070	0,026
C3	0,887	0,926	0,976	1,050	1,189	0,990	1,280	1,100
C4	2,220	2,369	2,557	2,836	3,358			
T3-S2	3,177	3,500	3,906	4,507	5,636	1,510	2,380	1,710
T3-S3	3,501	3,666	3,873	4,181	4,757			

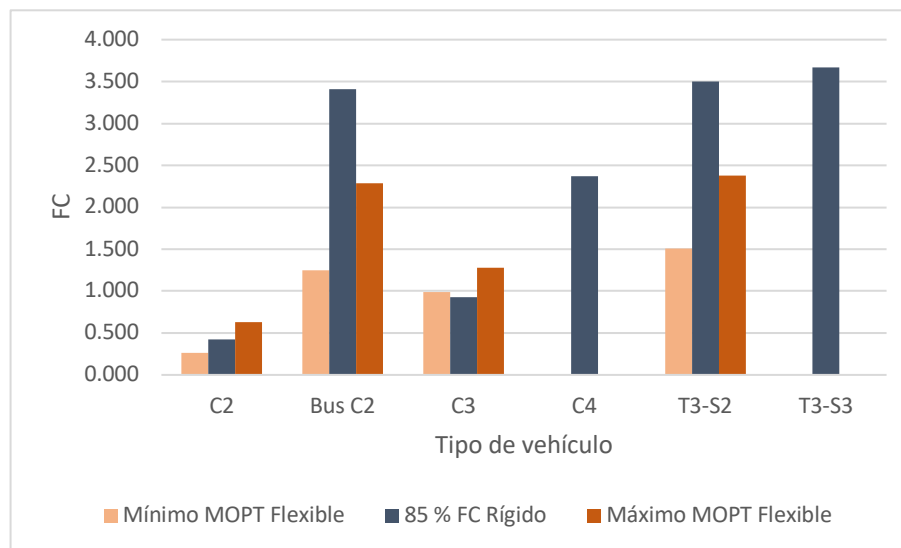


Figura 4 . Factor camión para el 85% de nivel de confianza y rangos del MOPT para los vehículos C2, Bus C2, C3, C4, T3-S2 y T3-S3

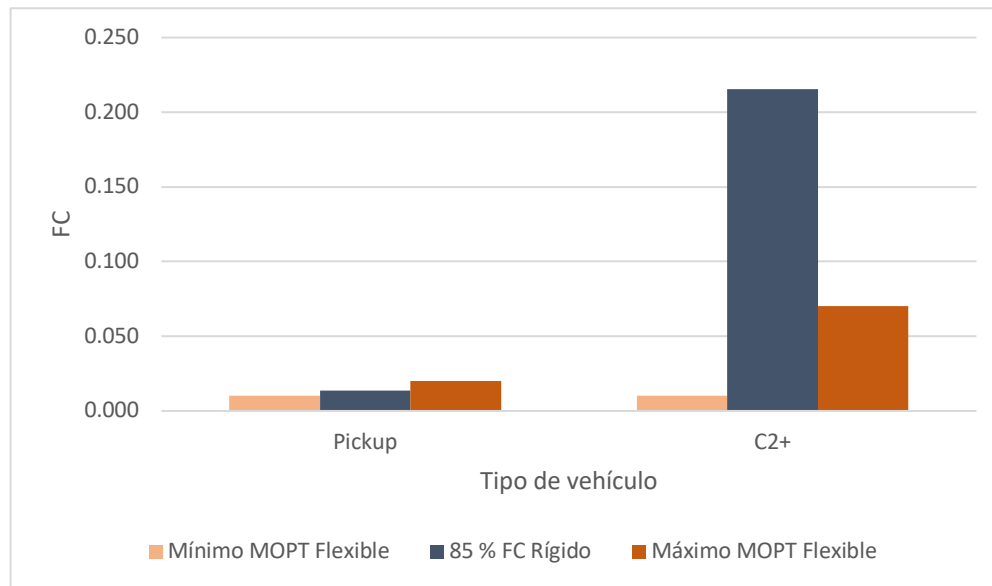


Figura 5 . Factor camión para el 85% de nivel de confianza y rangos del MOPT para los vehículos tipo C2+ y pickup

Con base en el análisis de los factores camión para pavimentos rígidos obtenidos se recomienda como mínimo los valores de factores camión para el 85 % de confiabilidad. Este valor de 85 % es comúnmente utilizado en el ámbito de la estadística ingenieril y representa por ejemplo para el caso de los vehículos C2 que, si se realiza alguna medición el 85 % de los vehículos de este tipo, tienen un factor camión de 0,426 o menos (ver Cuadro 6). Sin embargo, esto no exime que pueda utilizarse otro nivel de confianza si se determina que es necesario disminuir la incertidumbre (aumentar la confiabilidad). **Además, se recomienda que esta estimación se relacione con el nivel de confiabilidad del diseño por realizar.**

3 Conclusiones

- Las bases de datos de pesajes se readecuaron de manera exitosa para poder ingresarlas en la herramienta de cálculo de factores camión para pavimentos rígidos utilizando el cálculo de factores LEF para cada eje según el tipo de eje y el tipo de vehículo. Los factores camión para pavimentos rígidos fueron obtenidos con los pesos exacto de cada uno de los ejes, por lo tanto, los valores obtenidos tienen alta precisión.
- Como valor agregado del presente análisis, se tiene la ponderación del factor camión para pavimentos rígidos por cantidad y tipo de vehículo para asociarlos a diferentes niveles de confianza.
- Se ha determinado, según los valores históricos, que todavía no existe una clara estabilización del factor camión para pavimentos rígidos en algunas rutas del país, donde también se han identificado diferentes condiciones de muestreo, debido a cambios en políticas de medición y estudios con objetivos diferentes (Allen et al., 2020). De ahí, la importancia de seguir analizando los datos pasados y futuros para comprender cómo afectan realmente estos cambios en los valores estimados.
- Los valores acá expuestos, se encuentran calculados a partir de una base de datos de más de 15 millones de vehículos, lo que brinda una cantidad de datos considerable para hacer estimaciones de variabilidad y nivel de confianza.
- Los valores de factor camión para pavimentos rígidos acá expuestos son los primeros obtenidos en materia de pavimentos rígidos. Los mismos capturan el comportamiento dinámico de los factores camión en pavimentos rígidos desde el año 2007 hasta el año 2017, para Costa Rica.



4 Recomendaciones

- Continuar con la recopilación de datos sobre el pesaje y para distintos tipos de vehículos, con el propósito de realizar análisis e investigaciones futuras.
- Generar un proceso de actualización continua, en donde, al menos cada dos años, los factores camión para pavimentos rígidos sean actualizados siguiendo una media móvil de cierta cantidad de años que deberá ser determinada posteriormente.
- Se insta a la Administración, tomar los factores camión determinados en este estudio y generar algún pronunciamiento legal, en términos de factores camión, para diseño de pavimentos rígidos en el país, dado que el factor camión es un componente dinámico el cual debe actualizarse de forma periódica, con el objetivo de que los diseños que se realizan capturen la realidad de carga que transita por las carreteras.
- Generar un esquema experimental que permita contar a futuro, con factores camión similares a los actuales pero, incorporando un componente regional. Con el objetivo de contar con datos más precisos por región, según los principales corredores viales.

6 REFERENCIAS

- Allen, J. (2014). Determinación de los factores camión promedio en las estaciones de pesaje en Costa Rica período 2008-2011. San José, Costa Rica: Unidad de Gestión Municipal, LanammeUCR.
- 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.
- Allen, J., Vargas, A., Hernández, H., Aguiar, J., & Loría, L. (2019). Análisis de la estabilización del factor camión mediante el control de sobre cargas en Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, San José, Costa Rica.
- Allen, J., Arias, E., & Vargas, C. (2020). Determinación de los factores camión asociados a encuestas de carga y estaciones de pesaje en Costa Rica en el período 2007-2017. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Unidad de Investigación en Infraestructura y Transporte, San José.
- 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.
- Loría-Salazar, L., Sequeira-Rojas, W., Guerrero-Aguilera, S., Herra-Gómez, L., Salas-Chaves, M., Arias-Barrantes, E. (2017). Informe de Auditoría Técnica LM-AT-113-2008: "Evaluación de parámetros y metodología utilizada en los diseños de pavimentos realizados bajo el marco de la Licitación Pública 2014LN-000018-OCV00". San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2007). Oficio "DVOP-5107-07 ", Despacho Viceministro Obras Públicas, San José, Costa Rica.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Ryan, T. P. (2007). Modern Engineering Statistics. New Jersey, United States: John Wiley & Sons.

Anexos

Resumen de factores camión por año, ruta y tipo de vehículo.

Cuadro A.1. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años de la ruta San José-Limón

Ruta	Período	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
SJ-L	2008	0,31	1,16	2,18	2,92	4,41
	2009	0,23	0,96	2,43	2,67	3,96
	2010	0,16	0,87	2,42	2,45	3,36
	2011	0,11	0,75	2,10	2,41	3,32
	2012	0,12	0,66	2,30	2,31	3,17
	2013	0,22	0,98	2,51	2,91	3,76
	2014	0,19	0,67	2,93	3,09	4,04
	2015	0,23	0,76	3,44	3,12	4,10
	2016	0,12	0,64	1,85	2,71	3,80
	2017	0,18	0,78	2,25	2,82	3,75

Cuadro A.2. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años de la ruta Limón-San José

Ruta	Período	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
L-SJ	2008	0,26	0,81	1,43	1,32	1,46
	2009	0,18	0,63	0,92	1,10	1,73
	2010	0,14	0,46	1,55	1,07	1,63
	2011	0,12	0,47	0,58	1,07	1,46
	2012	0,14	0,57	1,42	1,07	1,60
	2013	0,21	1,00	0,42	1,13	1,61
	2014	0,16	1,12	0,42	1,18	1,34
	2015	0,14	0,86	0,48	1,21	2,05
	2016	0,08	0,50	0,20	1,00	1,81
	2017	0,11	0,70	0,32	1,41	1,52



Cuadro A.3. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años de la ruta Cañas

Ruta	Período	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
Cañas	2009	0,27	1,01	1,29	2,38	3,01
	2013	0,17	0,58	0,94	1,50	2,72
	2014	0,15	0,64	1,08	1,46	2,80
	2015	0,15	0,50	0,46	1,60	2,87
	2016	0,13	0,40	0,28	1,46	2,51
	2017	0,17	0,52	0,80	1,55	2,90
	2018	0,13	0,57	1,40	1,83	2,93
	2019	0,14	0,45	1,07	1,57	2,91

Cuadro A.4. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años de la ruta San José-Ochomogo

Ruta	Período	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
SJ-Cartago (Ochomogo)	2009	0,19	1,04	1,81	1,61	2,74
	2010	0,15	0,68	1,74	1,37	2,45
	2011	0,14	0,57	1,63	1,27	2,83
	2012	0,15	0,61	1,96	1,23	2,86
	2015	0,13	0,61	1,04	1,27	2,76
	2016	0,15	0,69	1,23	1,48	3,02
	2017	0,21	0,76	1,62	1,59	2,27

Cuadro A.5. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años de la ruta Cartago-San José

Ruta	Período	C2	C3	C4	T3-S2	T3-S3
Cartago-SJ	2009	0,17	1,23	1,96	2,27	3,74
	2010	0,14	0,89	2,01	1,96	3,41
	2011	0,13	0,91	1,73	1,94	3,44
	2012	0,12	0,84	1,45	1,82	3,38
	2013	0,11	0,72	1,39	1,91	3,52
	2014	0,09	0,61	1,10	1,60	3,10



Cuadro A.6. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para distintos años en Paso Canoas

Ruta	Período	C2	C3	T3-S2	T3-S3
Paso Canoas	2009	0,26	0,78	1,71	2,27
	2010	0,21	0,58	1,45	3,67
	2011	0,16	0,56	1,42	1,57

Cuadro A.7. Resumen de factores camión de los diferentes tipos de vehículos para los datos de la encuesta de carga 2007

Ruta	Ruta	Pickup	C2	Bus C2	C2+	C3	T3-S2
Encuesta de carga 2007	Ruta 1: General Cañas	0,009	0,81	2,114	0,016	4,26	3,41
	Ruta 1: Bernardo Soto Naranjo	0,009	0,98	4,027	0,013	3,10	6,48
	Ruta 1: Bernardo Soto Esparza	0,009	0,76	3,14	0,493	4,62	7,34
	Ruta 2: Florencia	0,017	0,91	1,461	0,043	5,54	5,27
	Ruta 2: Pérez Zeledón	0,010	0,47	1,977	0,012	5,81	3,31
	Ruta 27	0,009	1,35	2,01	0,014	5,28	4,66
	Ruta 32	0,009	0,78	4,083	0,019	3,65	7,76
	Ruta 140	0,012	0,57	2,223	0,012	6,74	7,04



Cuadro A.8. Resumen de factores camión y porcentaje de cantidad de vehículos del total de datos utilizados para dicho cálculo en la ruta San José-Limón

Pavimentos rígidos												
Ruta	Período	C2		C3		C4		T3-S2		T3-S3		Total datos
SJ-L	Nov 2008 - Dic 2008	0,31		1,16		2,18		2,92		4,41		55.062
		7.558	14%	1.180	2%	577	1%	42.237	77%	3.510	6%	
	2009	0,23		0,96		2,43		2,67		3,96		371.227
		51.900	14%	9.096	2%	7169	2%	262.788	71%	40.274	11%	
	2010	0,16		0,87		2,42		2,45		3,36		391.150
		51.982	13%	10.585	3%	14687	4%	273.291	70%	40.605	10%	
	2011	0,11		0,75		2,10		2,41		3,32		408.652
		53.542	13%	9.944	2%	9442	2%	283.255	69%	52.469	13%	
	Ene 2012- Sep 2012	0,12		0,66		2,30		2,31		3,17		285.619
		36.934	13%	7.485	3%	4133	1%	192.855	68%	44.212	15%	
	Mar 2013 - Dic 2013	0,22		0,98		2,51		2,91		3,76		303.846
		40.935	13%	8.507	3%	8051	3%	190.254	63%	56.099	18%	
	2014	0,19		0,67		2,93		3,09		4,04		431.707
		53.129	12%	11.593	3%	12422	3%	250.725	58%	103.838	24%	
	2015	0,23		0,76		3,44		3,12		4,10		433.632
		56.103	13%	10.808	2%	9875	2%	243.570	56%	113.276	26%	
	2016	0,12		0,64		1,85		2,71		3,80		453.267
		56.285	12%	10.199	2%	5470	1%	256.477	57%	124.836	28%	
	Ene 2017 - Nov 2017	0,18		0,78		2,25		2,82		3,75		439.804
		53.456	12%	13.305	3%	4373	1%	248.556	57%	120.114	27%	
Promedio	0,19		0,82		2,44		2,74		3,77			
Desviación estándar	0,06		0,17		0,45		0,28		0,39			
x + σ	0,25		0,99		2,89		3,02		4,16			
x + 2σ	0,31		1,16		3,35		3,30		4,55			



Cuadro A.9. Resumen de factores camión y porcentaje de cantidad de vehículos del total de datos utilizados para dicho cálculo en la ruta Limón-San José

Pavimentos rígidos													
Ruta	Período	C2		C3		C4		T3-S2		T3-S3		Total datos	
L-SJ	Nov 2008 - Dic 2008	0,26		0,81		1,43		1,32		1,46			
		5.686	13%	1.320	3%	27	0%	33.003	78%	2.150	5%	42.186	
	2009		0,18		0,63		0,92		1,10		1,73		
			49.679	14%	9.089	3%	476	0%	277.217	77%	25.111	7%	361.572
	2010		0,14		0,46		1,55		1,07		1,63		
			53.109	13%	14.591	4%	514	0%	301.327	73%	40.948	10%	410.489
	2011		0,12		0,47		0,58		1,07		1,46		
			53.051	13%	13.020	3%	1760	0%	285.598	71%	51.581	13%	405.010
	Ene 2012 - Sep 2012		0,14		0,57		1,42		1,07		1,60		
			38.173	13%	8.528	3%	386	0%	201.769	69%	44.947	15%	293.803
	Abril 2013 - Dic 2013		0,21		1,00		0,42		1,13		1,61		
			39.763	13%	14.429	5%	3931	1%	188.457	63%	50.895	17%	297.475
	2014		0,16		1,12		0,42		1,18		1,34		
			53.095	13%	19.937	5%	10727	3%	256.560	61%	79.676	19%	419.995
	Jun 2015 - Dic 2015		0,14		0,86		0,48		1,21		2,05		
			54.368	13%	12.832	3%	9320	2%	249.321	62%	78.178	19%	404.019
	2016		0,08		0,50		0,20		1,00		1,81		
			55.409	13%	10.196	2%	4161	1%	280.241	64%	87.648	20%	437.655
	Ene 2017 - Nov 2017		0,11		0,70		0,32		1,41		1,52		
			52.008	12%	9.249	2%	2580	1%	268.880	64%	89.241	21%	421.958
Promedio		0,15		0,71		0,77		1,16		1,62			
Desviación estándar		0,05		0,23		0,52		0,13		0,20			
x + σ		0,21		0,94		1,29		1,29		1,83			
x + 2σ		0,26		1,17		1,80		1,41		2,03			



Cuadro A.10. Resumen de factores camión y porcentaje de cantidad de vehículos del total de datos utilizados para dicho cálculo en la ruta de Cañas

Pavimentos rígidos												
Ruta	Período	C2		C3		C4		T3-S2		T3-S3		Total datos
Cañas	Ene 2009 - Set 2009	0,27		1,01		1,29		2,38		3,01		93.677
		26.772	29%	6.312	7%	134	0%	55.091	59%	5.368	6%	
	Mar 2013 - Dic 2013	0,17		0,58		0,94		1,50		2,72		143.094
		43.457	30%	11.169	8%	3956	3%	71.517	50%	12.995	9%	
	2014	0,15		0,64		1,08		1,46		2,80		234.845
		69.507	30%	17.178	7%	2469	1%	1E+05	52%	23.766	10%	
	2015	0,15		0,50		0,46		1,60		2,87		232.518
		70.716	30%	19.372	8%	2585	1%	1E+05	49%	25.554	11%	
	2016	0,13		0,40		0,28		1,46		2,51		124.090
		66.725	54%	18.163	15%	5057	4%	10.518	8%	23.627	19%	
	Ene 2017 - Nov 2017	0,17		0,52		0,80		1,55		2,90		204.854
		61.356	30%	16.975	8%	6190	3%	97.426	48%	22.907	11%	
	2018	0,13		0,57		1,40		1,83		2,93		203.262
		63.455	31%	18.820	9%	5611	3%	93.194	46%	22.182	11%	
	2019	0,14		0,45		1,07		1,56		2,91		210.560
		68.292	32%	24.006	11%	2905	1%	92.629	44%	22.728	11%	
Promedio	0,16		0,58		0,91		1,67		2,83			
Desviación estándar	0,05		0,19		0,39		0,31		0,16			
x + σ	0,21		0,77		1,30		1,98		2,99			
x + 2 σ	0,26		0,96		1,69		2,29		3,15			



Cuadro A.11. Resumen de factores camión y porcentaje de cantidad de vehículos del total de datos utilizados para dicho cálculo en la ruta San José-Cartago (Ochomogo)

Pavimentos rígidos												
Ruta	Período	C2		C3		C4		T3-S2		T3-S3		Total datos
SJ-Cartago (Ochomogo)	2009	0,19		1,04		1,81		1,61		2,74		415.173
		276.068	66%	32.501	8%	3.959	1%	86.127	21%	16.518	4%	
	2010	0,145664		0,679257		1,741513		1,366839		2,453202		520.259
		339.175	65%	51.904	10%	6.272	1%	101.241	19%	21.667	4%	
	2011	0,14		0,57		1,63		1,27		2,83		483.060
		303.121	63%	50.407	10%	6.843	1%	97.235	20%	25.454	5%	
	Ene 2012 - Nov 2012	0,15		0,61		1,96		1,23		2,86		412.291
		253.196	61%	41.435	10%	6.336	2%	84.518	20%	26.806	7%	
	Mar 2015 - Dic 2015	0,13		0,61		1,04		1,27		2,76		476.889
		287.994	60%	46.757	10%	16.671	3%	93.598	20%	31.869	7%	
	2016	0,15		0,69		1,23		1,48		3,02		557.590
		339.492	61%	54.051	10%	18.822	3%	110.209	20%	35.016	6%	
	Ene 2017 - Nov 2017	0,21		0,76		1,62		1,59		2,27		369.639
		229.292	62%	34.547	9%	9.943	3%	76.495	21%	19.362	5%	
	Promedio	0,16		0,71		1,58		1,40		2,70		
	Desviación estándar	0,03		0,16		0,32		0,16		0,26		
x + σ	0,19		0,86		1,90		1,56		2,96			
x + 2 σ	0,21		1,02		2,23		1,72		3,22			



Cuadro A.12. Resumen de factores camión y porcentaje de cantidad de vehículos del total de datos utilizados para dicho cálculo en la ruta Cartago-San José

Pavimentos rígidos													
Ruta	Período	C2		C3		C4		T3-S2		T3-S3		Total datos	
Cartago-SJ	2009	0,17		1,23		1,96		2,27		3,74		402.440	
		244.182	61%	38.948	10%	5.808	1%	96.407	24%	17.095	4%		
	2010	0,14		0,89		2,01		1,96		3,41		512.063	
		311.476	61%	4.9144	10%	19.147	4%	10.8240	21%	24.056	5%		
	2011	0,13		0,91		1,73		1,94		3,44		475460	
		284.464	60%	4.7583	10%	14.620	3%	10.1773	21%	27.020	6%		
	Ene 2012 - Nov 2012	0,12		0,84		1,45		1,82		3,38		365.099	
		211.435	58%	35.363	10%	10.625	3%	83.536	23%	24.140	7%		
	Mar 2013 - Dic 2013	0,11		0,72		1,39		1,91		3,52		191.188	
		110.092	58%	18.088	9%	5.213	3%	46.523	24%	11.272	6%		
	2014	0,09		0,61		1,10		1,60		3,10		238.443	
		143.942	60%	22.804	10%	6.158	3%	52.625	22%	12.914	5%		
	Promedio		0,13		0,87		1,61		1,92		3,43		
	Desviación estándar		0,03		0,21		0,36		0,22		0,21		
x + σ		0,16		1,08		1,96		2,13		3,64			
x + 2 σ		0,18		1,29		2,32		2,35		3,85			



Distribuciones porcentuales por rutas y tipos de vehículos.

Cuadro A.13. Distribución porcentual por rutas según la cantidad total de cada tipo de vehículos

Cuadro general de distribución para ponderación									
Ruta	Período	% Pickup	% C2	% Bus	% C2+	% C3	% C4	% T3-S2	% T3-S3
SJ-L	2008		0,16%			0,14%	0,21%	0,65%	0,21%
	2009		1,09%			1,05%	2,66%	4,05%	2,36%
	2010		1,09%			1,22%	5,45%	4,21%	2,37%
	2011		1,12%			1,14%	3,50%	4,36%	3,07%
	2012		0,77%			0,86%	1,53%	2,97%	2,59%
	2013		0,86%			0,98%	2,99%	2,93%	3,28%
	2014		1,11%			1,33%	4,61%	3,86%	6,07%
	2015		1,18%			1,24%	3,67%	3,75%	6,62%
	2016		1,18%			1,17%	2,03%	3,95%	7,30%
	2017		1,12%			1,53%	1,62%	3,83%	7,02%
L-SJ	2008		0,12%			0,15%	0,01%	0,51%	0,13%
	2009		1,04%			1,04%	0,18%	4,27%	1,47%
	2010		1,11%			1,68%	0,19%	4,64%	2,39%
	2011		1,11%			1,50%	0,65%	4,40%	3,02%
	2012		0,80%			0,98%	0,14%	3,11%	2,63%
	2013		0,83%			1,66%	1,46%	2,90%	2,98%
	2014		1,11%			2,29%	3,98%	3,95%	4,66%
	2015		1,14%			1,48%	3,46%	3,84%	4,57%
	2016		1,16%			1,17%	1,54%	4,32%	5,13%
	2017		1,09%			1,06%	0,96%	4,14%	5,22%
Cañas	2009		0,56%			0,73%	0,05%	0,85%	0,31%
	2013		0,91%			1,28%	1,47%	1,10%	0,76%
	2014		1,46%			1,97%	0,92%	1,88%	1,39%
	2015		1,48%			2,23%	0,96%	1,76%	1,49%
	2016		1,40%			2,09%	1,88%	0,16%	1,38%
	2017		1,29%			1,95%	2,30%	1,50%	1,34%
	2018		1,33%			2,16%	2,08%	1,43%	1,30%
	2019		1,43%			2,76%	1,08%	1,43%	1,33%
SJ-Cartago (Ochomogo)	2009		5,79%			3,74%	1,47%	1,33%	0,97%
	2010		7,11%			5,97%	2,33%	1,56%	1,27%
	2011		6,35%			5,79%	2,54%	1,50%	1,49%
	2012		5,31%			4,76%	2,35%	1,30%	1,57%
	2015		6,04%			5,38%	6,19%	1,44%	1,86%



Cuadro general de distribución para ponderación									
Ruta	Período	% Pickup	% C2	% Bus	% C2+	% C3	% C4	% T3-S2	% T3-S3
Cartago-SJ	2016		7,11%			6,21%	6,99%	1,70%	2,05%
	2017		4,80%			3,97%	3,69%	1,18%	1,13%
	2009		5,12%			4,48%	2,16%	1,48%	1,00%
	2010		6,52%			5,65%	7,11%	1,67%	1,41%
	2011		5,96%			5,47%	5,43%	1,57%	1,58%
	2012		4,43%			4,07%	3,94%	1,29%	1,41%
	2013		2,31%			2,08%	1,94%	0,72%	0,66%
	2014		3,02%			2,62%	2,29%	0,81%	0,76%
Paso Canoas	2009		0,12%			0,08%		0,91%	0,25%
	2010		0,474%			0,43%		0,41%	0,00070%
	2011		0,465%			0,41%		0,41%	0,21713%
Encuesta de Carga 2007	Ruta 1: General Cañas	11,20%	0,005%	13,50%	12,20%	0,01%		0,00%	
	Ruta 1: Bernardo soto Naranjo	2,30%	0,005%	6,30%	5,30%	0,01%		0,00%	
	Ruta 1: Bernardo soto Esparza	2,30%	0,003%	9,20%	4,80%	0,00%		0,00%	
	Ruta 2: Florencia	5,60%	0,00%	13,90%	15,60%	0,00%		0,00%	
	Ruta 2: PZ	35,30%	0,004%	18,40%	12,90%	0,01%		0,00%	
	Ruta 27:	2,30%	0,007%	11,20%	16,30%	0,02%		0,00%	
	Ruta 32	8,84%	0,000%	7,80%	7,67%	0,00%		0,005%	
	Ruta 140	32,09%	0,0055%	19,70%	25,18%	0,009%		0,001%	
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%



Cuadro A.14. Distribución porcentual por rutas según la cantidad total de vehículos encuestados

Cuadro general de distribución para ponderación									
Ruta	Período	% Pickup	% C2	% Bus	% C2+	% C3	% C4	% T3-S2	% T3-S3
SJ-L	2008		0,05%			0,01%	0,00%	0,30%	0,02%
	2009		0,37%			0,06%	0,05%	1,86%	0,29%
	2010		0,37%			0,07%	0,10%	1,94%	0,29%
	2011		0,38%			0,07%	0,07%	2,01%	0,37%
	2012		0,26%			0,05%	0,03%	1,37%	0,31%
	2013		0,29%			0,06%	0,06%	1,35%	0,40%
	2014		0,38%			0,08%	0,09%	1,78%	0,74%
	2015		0,40%			0,08%	0,07%	1,73%	0,80%
	2016		0,40%			0,07%	0,04%	1,82%	0,88%
	2017		0,38%			0,09%	0,03%	1,76%	0,85%
L-SJ	2008		0,04%			0,01%	0,00%	0,23%	0,02%
	2009		0,35%			0,06%	0,00%	1,96%	0,18%
	2010		0,38%			0,10%	0,00%	2,13%	0,29%
	2011		0,38%			0,09%	0,01%	2,02%	0,37%
	2012		0,27%			0,06%	0,00%	1,43%	0,32%
	2013		0,28%			0,10%	0,03%	1,33%	0,36%
	2014		0,38%			0,14%	0,08%	1,82%	0,56%
	2015		0,39%			0,09%	0,07%	1,77%	0,55%
	2016		0,39%			0,07%	0,03%	1,99%	0,62%
	2017		0,37%			0,07%	0,02%	1,90%	0,63%
Cañas	2009		0,19%			0,04%	0,00%	0,39%	0,04%
	2013		0,31%			0,08%	0,03%	0,51%	0,09%
	2014		0,49%			0,12%	0,02%	0,86%	0,17%
	2015		0,50%			0,14%	0,02%	0,81%	0,18%
	2016		0,47%			0,13%	0,04%	0,07%	0,17%
	2017		0,43%			0,12%	0,04%	0,69%	0,16%
	2018		0,45%			0,13%	0,04%	0,66%	0,16%
	2019		0,48%			0,17%	0,02%	0,66%	0,16%
SJ-Cartago (Ochomogo)	2009		1,96%			0,23%	0,03%	0,61%	0,12%
	2010		2,40%			0,37%	0,04%	0,72%	0,15%
	2011		2,15%			0,36%	0,05%	0,69%	0,18%
	2012		1,79%			0,29%	0,04%	0,60%	0,19%
	2015		2,04%			0,33%	0,12%	0,66%	0,23%
	2016		2,40%			0,38%	0,13%	0,78%	0,25%
	2017		1,62%			0,24%	0,07%	0,54%	0,14%



Cuadro general de distribución para ponderación

Ruta	Período	% Pickup	% C2	% Bus	% C2+	% C3	% C4	% T3-S2	% T3-S3
Cartago-SJ	2009		1,73%			0,28%	0,04%	0,68%	0,12%
	2010		2,20%			0,35%	0,14%	0,77%	0,17%
	2011		2,02%			0,34%	0,10%	0,72%	0,19%
	2012		1,50%			0,25%	0,08%	0,59%	0,17%
	2013		0,78%			0,13%	0,04%	0,33%	0,08%
	2014		1,02%			0,16%	0,04%	0,37%	0,09%
Paso Canoas	2009		0,04%			0,01%		0,42%	0,03%
	2010		0,16%			0,03%		0,19%	0,00%
	2011		0,16%			0,03%		0,19%	0,03%
Encuesta de Carga 2007	Ruta 1: General Cañas	0,0002%	0,0018%	0,0004%	0,0004%	0,0004%		0,0006%	
	Ruta 1: Bernardo soto Naranjo	0,0000%	0,0016%	0,0002%	0,0002%	0,0003%		0,0015%	
	Ruta 1: Bernardo soto Esparza	0,0000%	0,0009%	0,0003%	0,0001%	0,0002%		0,0019%	
	Ruta 2: Florencia	0,0001%	0,0000%	0,0004%	0,0005%	0,0000%		0,0013%	
	Ruta 2: PZ	0,0005%	0,0015%	0,0006%	0,0004%	0,0005%		0,0003%	
	Ruta 27:	0,0000%	0,0024%	0,0004%	0,0005%	0,0012%		0,0004%	
	Ruta 32	0,0001%	0,0000%	0,0002%	0,0002%	0,0000%		0,0027%	
	Ruta 140	0,0005%	0,0019%	0,0006%	0,0007%	0,0006%		0,0004%	
Total		0,00%	33,80%	0,00%	0,00%	6,16%	1,91%	46,01%	12,11%