



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

5 de octubre de 2023
EIC-Lanamme-969-2023

Dr. Luis Amador Jiménez
Ministro, Ministerio de Obras Públicas y Transportes
Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Asunto: Nota Informe, recomendación sobre control de carga e implementación de nuevos factores camión a utilizar en el diseño estructural de pavimentos basados en condiciones para Costa Rica.

Estimado(a) señor(a):

Con fundamento en las disposiciones que determina el inciso g) del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias, le corresponde al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) la fiscalización para garantizar la calidad de la Red Vial Nacional, para lo cual se brinda el asesoramiento técnico al ministro y viceministro del sector.

A continuación, nos referimos al control de carga en la red vial y la necesidad de actualizar y aplicar factores camión para diseñar pavimentos ajustados a las necesidades reales de carga del país. De ahí que, el LanammeUCR ha venido realizado estudios y recomendaciones al respecto. En el 2014 realizó un estudio, a solicitud del CONAVI, recomendando la ubicación de 13 estaciones de control de peso en seis rutas nacionales, las cuales no han sido implementadas en su totalidad. Por otra parte, los factores camión vigentes desde el 2007 y necesarios para el diseño de pavimentos no responden a las condiciones reales del país, pese a que existen recomendaciones realizadas de la necesidad de ser actualizados, basados en un esfuerzo conjunto entre el MOPT y el LanammeUCR por analizar la información existente y proponer factores más realistas que mejoren los diseños que se realizan en Costa Rica





1. Introducción

El LanammeUCR ha realizado diferentes estudios para estimar el efecto de la reglamentación existente en relación con el control de carga de vehículos pesados. Ha emitido recomendaciones sobre la ubicación e implementación de las estaciones de pesaje y los factores camión a utilizar en los diseños de pavimentos basados en demandas reales de carga para Costa Rica.

El patrón de comportamiento de las cargas obedece a factores dinámicos, que requieren de un trabajo en conjunto entre la Administración y los centros de investigación como el LanammeUCR, con el propósito de adaptar los diferentes parámetros a las condiciones locales, mantener la normativa actualizada y ejercer un correcto control con base en los objetivos nacionales planteados en la materia. Esto para garantizar la eficiencia en las inversiones realizadas y la durabilidad de las carreteras de Costa Rica.

1.1. Justificación

En una carretera transitan diferentes vehículos, desde vehículos livianos de pasajeros hasta pesados o camiones utilizados para mover mercancías de un lugar a otro, siendo un motor importante para la economía de un país.

Aunque los vehículos pesados tienden a estar entre un 5 % a un 15 % del total de la flotilla vehicular de una carretera, desde el punto de vista del diseño estructural y del impacto que estos vehículos generan en los pavimentos, representan cerca del 90 % de la carga total (o daño), por lo que es necesario considerar esta información para el diseño de una estructura de pavimento.

Además, es indispensable que el país tenga un estricto control de las cargas permitidas en cada ruta del país, ya que cargas superiores a las consideradas en el diseño del pavimento, generan un daño prematuro sacrificando su vida útil y la eficiencia de la inversión.

Por tanto, conocer de forma precisa la cantidad y magnitud de estas cargas es un factor trascendental para realizar diseños de pavimentos satisfactorios para predecir una vida útil determinada y garantizarla con un adecuado control de las cargas máximas permitidas.



1.2. Importancia

Los vehículos pesados ejercen el mayor daño inducido por carga en las estructuras de pavimentos. Bajo el concepto actual de diseño de pavimentos, debemos convertir el paso de una gran variedad de tipos de vehículos a una unidad de medida estándar lo que se conoce como factores camión, que ponderan el daño que ejerce un vehículo determinado.

Para realizar diseños adecuados es necesario que se utilicen factores camión representativos y actualizados para cada país, ya que la dinámica de movimientos de carga es propia de cada sitio en particular. También es importante que exista concordancia entre los factores que utilizamos para diseño y la carga que realmente transita sobre las carreteras.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 1, el paso de un vehículo tipo C3 a carga máxima reglamentaria representa el daño generado por unos 5000 vehículos livianos. En la Figura 2 se muestra el efecto que ejerce la sobre carga de un vehículo tipo C3, donde un 30 % de sobrecarga puede aumentar el daño en un pavimento hasta un 280%, casi triplicando el efecto que se tendría si transitara respecto a la carga máxima reglamentaria.

Por ello, impulsar estudios sobre conocer (pesos y factores camión) y controlar la carga es esencial (estaciones de pesaje y fiscalización) para garantizar la durabilidad de los pavimentos, si no, transitarán libremente con sobrepeso, afecta negativamente la vida útil de los pavimentos porque el factor de daño crece exponencialmente.

EIC-Lanamme-969-2023
Página 4

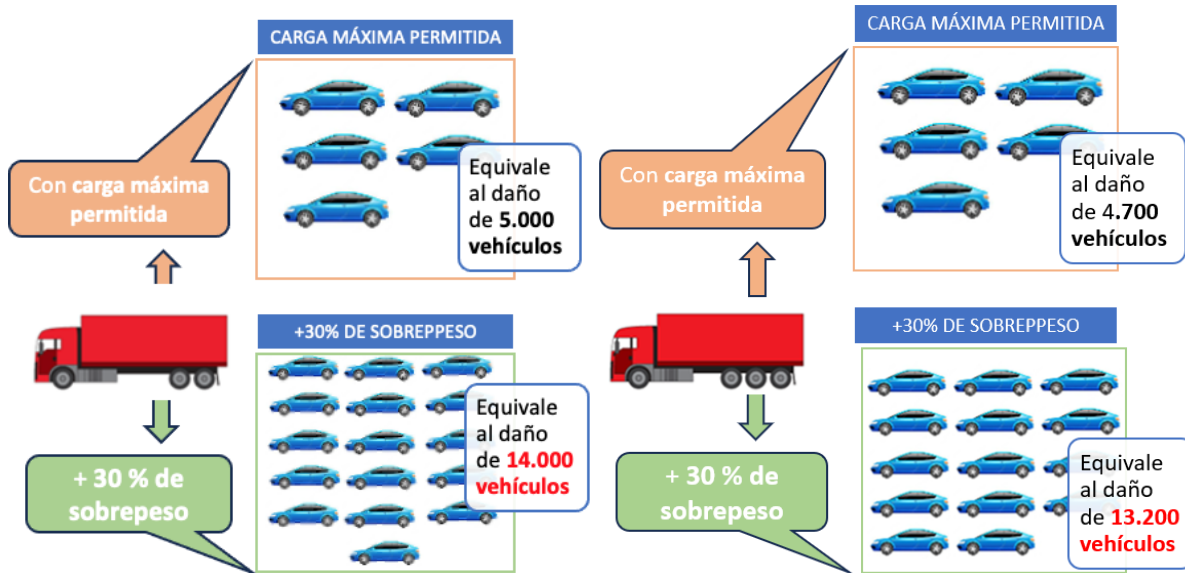


Figura 1. Relación entre vehículos pesados tipo C3 (izquierda) y C4 (derecha), livianos y sobrecarga.

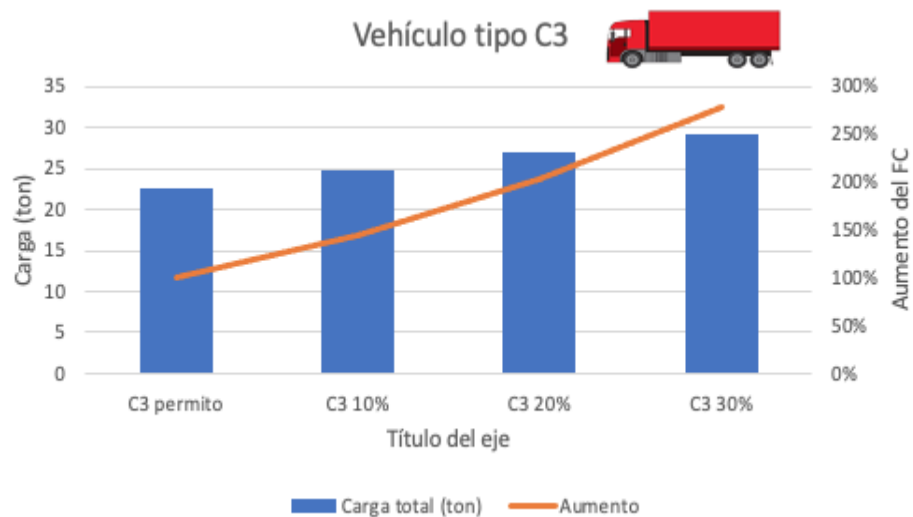


Figura 2. Efecto de la sobrecarga en el factor camión para vehículos C4.

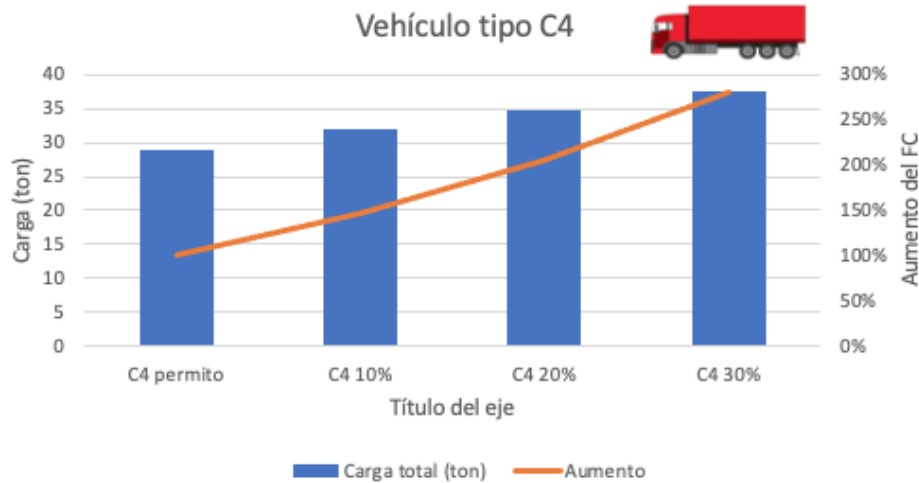


Figura 3. Efecto de la sobrecarga en el factor camión para vehículos C4.

2. Antecedentes

El factor camión se determina según lo establecido en la *Guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993* y corresponde a un índice de daño que se transfiere al pavimento (relación esfuerzo-deformación), su cálculo se basa en los factores de equivalencia de carga (*Load Equivalency Factor*, LEF por sus siglas en inglés). Los LEF expresan el daño que produce cada eje sobre un pavimento y depende básicamente de: peso y tipo de eje (simple, tándem, trídem), tipo de estructura (rígido o flexible) y capacidad estructural.

A continuación, se presentan antecedentes de diversos estudios realizados por LanammeUCR, enfocados en la temática de control de carga, sobrepeso y factores camión para diseño estructural de pavimentos. Se divide en tres fases, presentadas a continuación.

2.1. Encuestas de carga y estaciones de pesaje (Período 2007-2011)

Hacia el año 2005 se evidenció que en Costa Rica no se contaba con puestos de pesaje activos en las principales rutas del país, por lo que la falta de información imposibilitaba el seguimiento adecuado para contar con una base de datos representativa. Se presentan en el país aumentos significativos en las cargas transportadas por los vehículos de carga, así como un incremento en la flota de buses para el transporte público con mayores dimensiones y pesos que los



anteriores. Se evidencia la necesidad de solventar esta carencia de información con datos actuales y fidedignos.

En el informe *Proyecto PI-01-PIIVI-2007, Informe Final Encuesta de Carga*, el LanammeUCR presenta la formulación de una herramienta de análisis y recolección de datos actualizados para clasificar la flota vehicular. Se genera una encuesta de carga inicial que sirva como insumo para formular posteriores guías de diseño y manuales de estaciones técnicas para materiales de carreteras de Costa Rica. El resultado principal fue un punto de comparación de los factores camión típico utilizados en otros países, los actuales utilizados por MOPT-CONAVI, y los obtenidos en esta investigación, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de factores camión típicos y los obtenidos en la Encuesta de Carga 2007.

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

Se evidencia que los valores utilizados por el MOPT-CONAVI estaban por debajo de los máximos encontrados. Así, se construirían pavimentos cuya capacidad estará subdiseñada para las solicitudes reales. En setiembre 2007 el MOPT emite el Oficio DVOP-5170-07, donde se dan los lineamientos de factores camión para diseño estructural de pavimentos, basado en dicho informe.

Ese hecho demuestra la importancia de dicha investigación en términos de diseño de pavimentos en Costa Rica.

A finales del 2008 el MOPT-CONAVI, a través del departamento de Pesos y Dimensiones, inició la contratación de servicios de pesaje móvil en varias rutas nacionales. Como parte de esta iniciativa, este departamento ha ido suministrando la base de datos generada en las estaciones de pesaje móvil para que sea utilizada y analizada por el LanammeUCR.

En el informe Proyecto *PI-03-PIIVI-2009, Informe Final Incidencia de las Estaciones de Pesaje Móvil en los Factores Camión en Pavimentos en Costa Rica*,



LanammeUCR presenta un análisis de las variaciones en los factores camión, antes y después, en las rutas nacionales donde se implementó el control de pesaje con el uso de estaciones de pesaje móvil.

El resultado principal fue un punto de comparación de los factores camión reglamentados y los obtenidos en las Encuestas de Carga años 2007 y 2009, se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación de factores camión reglamentados y los obtenidos en los años 2007 y 2009.

Tipo de vehículo	Costa Rica MOPT-CONAVI antes 2007	Lanamme 2007 Rango FC	Directriz MOPT DVOP-5170-07	Control de pesos 2009 Rango FC
Carga liviana (C2+)	0.39	0.005 - 0.22	0.26	-
2 Ejes (C2)	1.00	0.300 - 0.86	0.47	0.23 - 0.52
3 Ejes (C3)	1.45	1.43 - 3.08	1.10	0.64 - 1.33
4 Ejes (C4)	-	-	-	0.12 - 1.87
3 Ejes (T2-S1)	-	-	-	0.19 - 2.85
4 Ejes (T3-S1)	-	-	-	0.29 - 2.33
5 Ejes (T3-S2)	2.70	1.52 - 3.41	1.71	0.74 - 2.06
6 Ejes (T3-S3)	-	-	-	0.47 - 2.49

Se evidencia que los factores camión en 2009 son menores a los que existían en el año 2007, esto como producto de la reactivación del control de cargas realizado en las rutas nacionales N°2 (Ochomogo), N°32 (Búfalo) y N°1 (Esparza) donde se colocaron las estaciones de pesaje. Por lo tanto, se evidencia que el control de cargas permite reducir los factores camiones y su efecto positivo en mitigar el deterioro excesivo de los pavimentos por la sobrecarga de vehículos.

2.2. Asesorías técnicas sobre normativa de pesos y estaciones de pesaje (Período 2011-2014)

En el año 2013, mediante el *Oficio DPS-2013-524*, el MOPT-CONAVI realiza una solicitud al LanammeUCR sobre el efecto comparativo de la normativa centroamericana de pesos máximos admisibles con la vigente en Costa Rica. En respuesta a la misma, el LanammeUCR produce dos informes: *LM-PI-UM-012-13 Análisis comparativo de normativa de pesos Centroamericana contra la de Costa Rica* y *LM-PI-UP-06-2013 Revisión del peso de los vehículos incluidos en la*



EIC-Lanamme-969-2023
Página 8

propuesta de actualización del acuerdo centroamericano de circulación por carretera y en el decreto 31363-MOPT y su efecto en puentes de Costa Rica.

Adicionalmente, debido a las disposiciones de acatamiento obligatorio impuestas por la Contraloría General de la República al CONAVI, en el informe *DFOE-IFR-07-2013* con respecto a las estaciones de pesaje; el CONAVI solicita formalmente la colaboración en forma de asesoría técnica por parte del LanammeUCR, mediante el oficio DSUR-01-03-009, para que elabore un estudio técnico en el que se recomiende los principales sitios en los cuales son necesarias estaciones de pesaje en la RVN de Costa Rica, que permitan regular el peso de los vehículos pesados.

Para cumplir con estos objetivos, LanammeUCR generó el informe *LM-PI-GM-02-2014 Determinación de la cantidad y ubicación de estaciones de pesaje en la red vial nacional*, donde se presenta una matriz de distribución de viajes que muestra el flujo de toneladas métricas de productos agropecuarios y de construcción anual por las principales carreteras del país; y con base en esto y otras características de relevancia. **Con esto se determina una recomendación para la ubicación de 13 estaciones de pesaje en las Rutas Nacionales 27, 32, 1, 2, 141 y 34. La distribución de dichas estaciones de pesaje se presenta en la figura 4.**

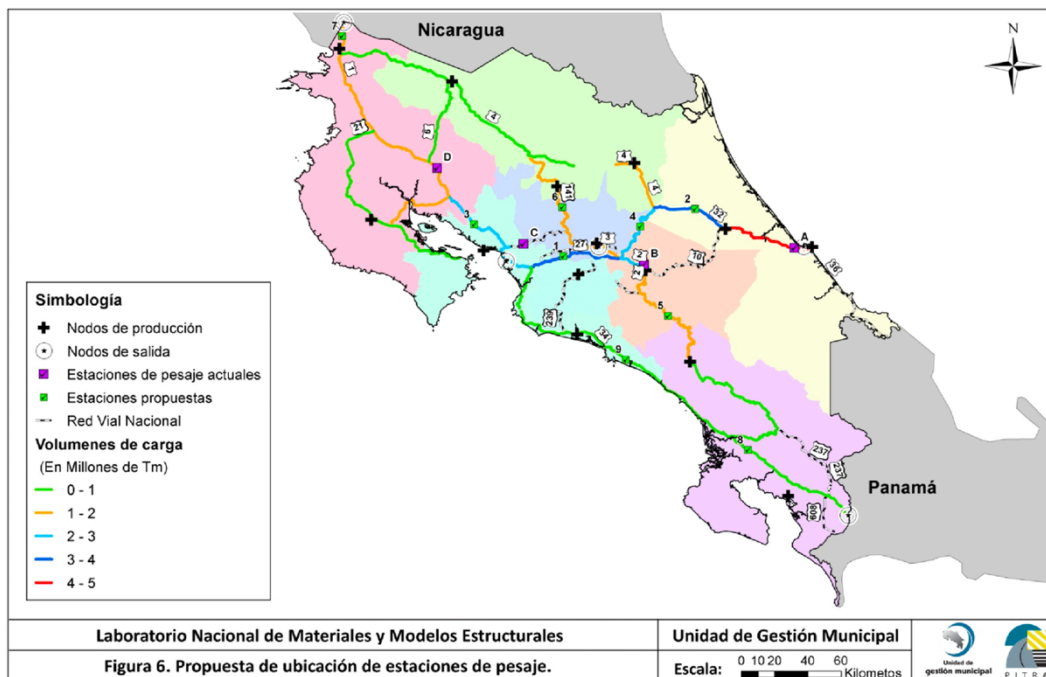


Figura 4. *Propuesta de ubicación de estaciones de pesaje.*



2.3. Análisis global de factores camión: recomendaciones para diseño de pavimentos (Período 2014-2022)

En el año 2020 se calculan y actualizan los factores camión para toda la información disponible: encuestas de carga LanammeUCR, estaciones de pesaje CONAVI-MOPT y trabajos finales de graduación. En el informe LM-PI-UGM-INF-02-2020 se recopilan y analizan las bases de datos sobre factores camión calculados entre 2007 y 2017 por el LanammeUCR, donde se contó con más de 15 millones de vehículos pesados. Los factores camión calculados contemplan la variabilidad interanual y se calculan considerando un pavimento flexible.

Adicionalmente, el informe LM-PI-UIIT-119-2020-R1 se realiza el mismo ejercicio que el anterior, pero considerando un pavimento rígido. En la figura 5 se muestra el esquema metodológico de ambos informes, donde se detalla el origen de las bases de datos utilizadas, y cómo se combinaron las mismas para dar en el resultado de los factores camión propuestos.

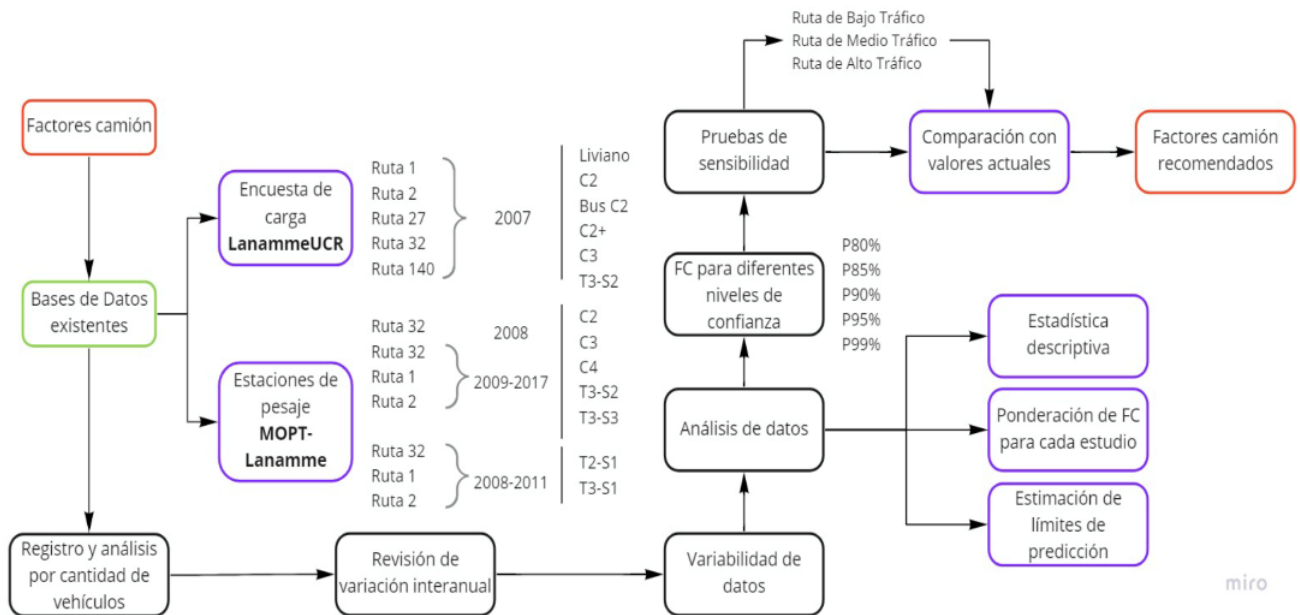


Figura 5. Esquema metodológico para cálculo de factores camión recomendados.

En la tabla 3 se muestra el resultado final que son los factores camión recomendados para diseño de pavimentos flexibles, y comparado con la



normativa vigente, en los informes se recomienda el percentil 85, sin embargo, se brindan otros valores para que exista concordancia entre la confiabilidad de los diseños y los factores por utilizar.

Tabla 3. Resumen de factores camión estimados (2007-2017) y valores utilizados por el MOPT.

Vehículo	Factor Camión Propuesto para diferentes niveles de confianza					MOPT		
	80%	85%	90%	95%	99%	Mínimo MOPT	Máximo MOPT	Promedio
Pickup	0,013	0,013	0,014	0,014	0,015	0,010	0,020	0,010
C2	0,360	0,400	0,451	0,527	0,670	0,260	0,630	0,470
Bus C2	2,559	2,734	2,954	3,281	3,893	1,250	2,290	1,710
C2+	0,093	0,107	0,126	0,154	0,205	0,010	0,070	0,026
C3	1,250	1,414	1,621	1,928	2,504	0,990	1,280	1,100
C4	1,123	1,193	1,282	1,413	1,659			
T3-S2	1,920	2,098	2,321	2,652	3,273	1,510	2,380	1,710
T3-S3	2,142	2,230	2,341	2,506	2,815			

Finalmente, cabe destacar que estos dos informes (LM-PI-UGM-INF-02-2020 y LM-PI-UIIT-119-2020-R1) alimentarán las guías de diseño de pavimentos, que se encuentran actualmente en etapa de revisión y oficialización: Tomo I Guía mecánica empírica para el diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos, y Tomo III Guía mecánica empírica para el diseño de pavimentos rígidos.

3. Análisis de condiciones actuales

En los informes emitidos por el LanammeUCR, se ha evidenciado que los factores camión empleados actualmente para el diseño de pavimentos (los recomendados por el oficio DVOP-5170-07) se encuentran desactualizados, por lo que los diseños realizados con estos valores no van a satisfacer las cargas reales y presentarán daños prematuros y se acortará su vida útil.

Se ha evidenciado que el control de cargas realizado por la Administración activando las estaciones de pesaje y control de vehículos de carga ha sido positivo para mitigar el daño acelerado de las sobrecargas fuera de los rangos máximos normados.

Dado su efecto positivo y reconociendo que este control de cargas se ubica solo en unas pocas rutas del país es evidente que esta iniciativa debe extenderse a otras rutas (definidas con criterios técnicos) para extender su efecto en el resto de la red vial del país, reiterando que este control está directamente ligado a la eficiencia de



EIC-Lanamme-969-2023
Página 11

la inversión en infraestructura vial realizada, evitando el deterioro acelerado provocado por estos vehículos que podría alcanzar hasta un 30% de reducción en vida útil.

4. Oportunidades de mejora

Los esfuerzos del LanammeUCR constantemente se han enfocados en estimar factores camión reales y representativos que puedan ser utilizados por la Administración y promover una dinámica de actualización continua que permita utilizar factores adecuados a la flotilla vehicular real del país, que permitan obtener diseños más confiables. El comportamiento de la flotilla vehicular en cuanto a cantidad y cargas transportadas no es constante en el tiempo y obedece a muchos factores propios de cada país y zona, por lo tanto, es recomendable hacer revisiones periódicas en lapsos no mayores a 5 años.

Aunque las estaciones de pesaje han ayudado a mitigar el efecto de sobrecarga, se detectan debilidades en el control de cargas. Una debilidad detectada por la Contraloría de la República sobre la rehabilitación de las estaciones pesajes, en el *informe DFOE-IFR-07-2013 Informe del estudio especial efectuado en el Consejo Nacional de Vialidad*, es que “...no es claro la infracción, tipo de multa y monto para el vehículo que evade la estación de control de pesos y dimensiones”. Esto aunado a la ambigüedad explícita de la Ley 9078 Ley de tránsito por vías públicas terrestres y seguridad vial: en el artículo 145 se sanciona al conductor que circule con exceso de peso por las vías públicas, por otra parte, en el artículo 114 lo exonera de esa multa en caso de que se efectúe transbordo o reacomodo de la mercadería, sin importar el daño ocasionado en la red vial. La ley y la aplicación de la misma cuenta con ambigüedad que permite que los transportistas puedan transbordar su mercadería. La aplicación de la ley actualmente no garantiza que los camiones pesados circulen conforme a la reglamentación de pesos máximos por las carreteras del país.

Se considera esencial concebir un proyecto de ley que permita una fiscalización adecuada para regular fehacientemente la normativa con respecto a los vehículos que circulen con sobrepeso por las carreteras de Costa Rica. Lo anterior es muy importante en rutas de medio y bajo volumen concebidas y diseñadas para el paso de pocos vehículos de carga, por ejemplo, rutas cantonales urbanas. En estas rutas se sugiere la restricción de ciertos vehículos de carga por los efectos negativos acelerados en el deterioro de las rutas en detrimento de tránsito fluido en entornos urbanos.



5. Conclusiones

En los últimos 15 años el país ha tenido avances en el control de carga y estimación de factores camión, mediante el trabajo de la Administración, la colaboración MOPT-LanammeUCR y a través de múltiples proyectos de investigación que se han generado sobre el tema en cuestión. El aporte del LanammeUCR se ha dirigido en varias vertientes como lo son, evaluar, conocer y controlar las cargas que transitan por nuestras carreteras y generar de esta forma insumos e indicadores que permitan mejorar cómo se diseñan y comportan los pavimentos de Costa Rica. Sin embargo, hay insumos generados que no se han implementado y que podrían contribuir a actualizar criterios de diseño, mejorar en la regulación y conocer de una mejor forma como afecta al transporte de cargas la durabilidad de los pavimentos.

Este tema debe abordarse desde una perspectiva de regulación y actualización continua, y una cuantificación por parte de profesionales del sector considerando el gran efecto e impacto del fenómeno; sin esto, es difícil realizar diseños de estructuras de pavimentos óptimos.

Las estaciones de pesaje proveen de información valiosa para la generación de los factores camión, sin embargo, es necesario ampliar la cobertura de dichas estaciones para aumentar la regulación y diversificar los datos disponibles para la toma de decisiones. El país debe enfocarse por conocer y regular las cargas de los vehículos que transitan por las carreteras y de esta forma optimizar el uso de los recursos disponibles para la construcción de infraestructura vial.

6. Recomendaciones

- Continuar con el trabajo en conjunto realizado entre la Administración y el LanammeUCR para revisar y actualizar los factores de camión que son utilizados para el diseño de pavimentos en Costa Rica.
- Promover la instalación de estaciones de pesaje en las carreteras nacionales estratégicas, que permitan el control de cargas máximas permitidas y conocer con mayor detalle cómo se mueve la carga en el país.
- Implementar normativa que permita fiscalizar sobrecargas en las carreteras de Costa Rica, para garantizar la vida útil de las carreteras existentes y así no fallen anticipadamente por excesos de carga.
- Actualizar y oficializar los nuevos factores camión pues los que rigen actualmente datan del 2007, con el fin de obtener diseños de pavimentos más confiables, ajustados a las cargas vehiculares reales y disminuir con ello



EIC-Lanamme-969-2023
Página 13

el riesgo de subdiseño o sobrediseño de las estructuras de pavimentos en aras de optimizar los recursos.

Sin otro particular, se despide atentamente,

Atentamente,



<MARCA_FIRMA_DIGITAL>

Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA.
Coordinador
UIIT

<MARCA_FIRMA_DIGITAL>

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas, M.Sc.
Coordinadora General
Programa de Infraestructura del Transporte

<MARCA_FIRMA_DIGITAL>

Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph.D.
Director
Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.
Director a.i



EIC-Lanamme-969-2023
Página 14

INICIALES

C.c Ing. Mauricio Batalla Otárola, Director Ejecutivo del Consejo Nacional de Vialidad,
Ministerio de Obras Públicas y Transportes
Lic. Joaquín Vargas Guerrero, Auditoría MOPT, MOPT
Lic. Reynaldo Vargas Soto, Auditoría CONAVI, MOPT
Archivo