

IAG409-03-2013
**DETERMINACIÓN DE FACTORES CAMIÓN Y ESPECTROS DE
CARGA REPRESENTATIVOS DE AUTOBUSES URBANOS E
INTERURBANOS PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN
CARRETERAS DE COSTA RICA.**
**DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE CARGA E ESPECTROS DE
CARGA REPRESENTATIVOS DOS ÔNIBUS URBANOS E INTER-
URBANOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS
FLEXÍVEIS NAS RODOVIAS DA COSTA RICA.**

Jaime Allen Monge
jaime.allenmonge@ucr.ac.cr
José Pablo Aguiar Moya
jose.aguiar@ucr.ac.cr
Gustavo Badilla Vargas
gustavo.badilla@ucr.ac.cr

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa
Rica San José, Costa Rica

Juan Carlos Espinoza González
jc.espinoza@yahoo.com
Escuela de Ingeniería Civil Universidad de Costa Rica

Resumen

Este estudio se enmarca en el Macro-Proyecto: Parámetros de Carga, a cargo del LanammeUCR. El presente proyecto tiene como objetivo determinar factores camión de autobuses urbanos e interurbanos que representen las cargas actuales a las que se ven sometidos los pavimentos en Costa Rica, de modo que permitan diseños que resistan adecuadamente las solicitudes de carga que experimentarán a lo largo de su vida útil. Para una adecuada determinación de estos factores es necesario el establecimiento de un método de muestreo que permitirá la reducción del sesgo en los datos obtenidos provocado por la variación temporal y espacial del tránsito, con el propósito de lograr esto se inició por recolectar la información existente y contactar con los entes reguladores pertinentes. Posteriormente se seleccionaron rutas y puntos de aforo que tuvieran las características de tránsito deseadas, una vez establecidos estos puntos se realizaron conteos vehiculares con el fin de obtener el tamaño de la muestra representativa de autobuses de acuerdo con el horario de muestreo establecido. La siguiente etapa corresponde al estudio de campo, durante el cual se obtuvo el peso por eje de los autobuses al tiempo que estos se clasificaban de acuerdo a su destino. Finalizado el muestreo se obtuvieron los factores camión promedio para cada ruta de estudio y clasificación de autobuses, se determinó además si existen diferencias significativas entre las medias de factor camión de una ruta y otra y entre tipo de rutas.

Resumo

Este estudo faz parte do Macro-Projeto: Parâmetros de Carga do LanammeUCR. Este projeto tem como objetivo determinar os fatores caminhão dos ônibus urbanos e inter-urbanos que representam as cargas atuais, as quais são submetidos os pavimentos na Costa Rica, de forma permitam dimensionamentos que suportam adequadamente as solicitações de carga que experimentaram ao longo da sua vida útil. Para a determinação adequada desses fatores é necessário estabelecer um método de amostragem que permita a redução do viés nos dados obtidos causados pela variação temporal e espacial do tráfico, a fim de conseguir isso, começou-se por recolher a informação existente e fazer contato com os órgãos reguladores competentes. Subsequentemente foram seleccionadas as rotas e pontos de aferição que tiveram as características de tráfico desejadas, uma vez establecidos este puntos foram realizados contagens de vehículos a fim de obter o tamanho da amostra representativa de ônibus de acordo com o horário de amostragem establecido. A próxima etapa corresponde ao estudo de campo, durante o qual obtive-se o peso eixo por eixo dos ônibus quando ao mesmo tempo que estes foram classificados de acordo com seu destino. Finalizada a amostragem foram-se obtidos os factores caminhão médios de cada uma das rotas de estudo e clasificación de ônibus, también determinou-se que existen diferencias significativas entre los valores médios de los factores de caminhão de cada una de las rotas.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos se diseñan para resistir un número equivalente de ejes a lo largo de su vida útil, los cuales toman en cuenta las cargas de los distintos tipos de vehículos que viajan a través de la carretera. Debido a esto para que el ingeniero sea capaz de diseñar carreteras que resistan la solicitud de cargas producida por el tránsito es indispensable contar con bases de datos que permitan conocer como esta conformada la flota vehicular del país.

La demanda de carga impuesta en las carreteras se ve fuertemente influenciada por el desarrollo del comercio en las diferentes zonas de un país, ya que esto produce un aumento en el flujo vehicular entre las mismas. En el caso de los vehículos pesados, como camiones o autobuses, estos requieren una consideración especial e importante al momento de diseñar la estructura del pavimento de una carretera, ya que debido a la magnitud superior de su peso transmiten una carga mayor a la superficie por la que transitan que los vehículos livianos, lo cual conlleva una mayor magnitud de daño a la estructura.

Costa Rica experimenta crecimiento en sus centros de población el cual va acompañado de una mayor demanda de bienes así como también un incremento de la necesidad de las personas por trasladarse entre las diferentes provincias, principalmente desde y hacia el Valle Central, a causa de esto las carreteras del país se ven expuestas a un mayor tráfico de vehículos pesados. La siguiente tabla muestra los cantones de Costa Rica que presentaron un crecimiento poblacional mayor entre los dos últimos censos realizados en el país.

Tabla 1: Cantones con mayor tasa de crecimiento de población

Cantón	Población (hab.)		Tasa de crecimiento promedio anual (%)
	2000	2011	
Garabito	10378	17229	4,6
Santa Ana	34507	49123	3,2
Carrillo	27306	37122	2,8
Santa Cruz	40821	55104	2,7
Liberia	46703	62987	2,7
Flores	15038	20037	2,6
Aguirre	20188	26861	2,6
Parrita	12112	16115	2,6
San Pablo	20813	27671	2,6
Orotina	15705	20341	2,4

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2011

El aumento en volumen de vehículos pesados en el territorio nacional, junto con la falta de un control efectivo de pesos ante la escasez de estaciones de pesaje en el país, muestra que existe la necesidad de recalcular los factores que influyen en el diseño de pavimentos de modo que se tome en cuenta los cambios en el volumen y distribución de los vehículos pesados que recorren las carreteras. Por lo tanto, deben recalcularse los factores camión para las principales carreteras de Costa Rica, de modo que pueda comprobarse si los valores establecidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) reflejan realmente las cargas que imponen los vehículos pesados sobre el pavimento o si es necesario establecer nuevos factores que reflejen más fielmente las cargas a las que se ven expuestas las carreteras actualmente.

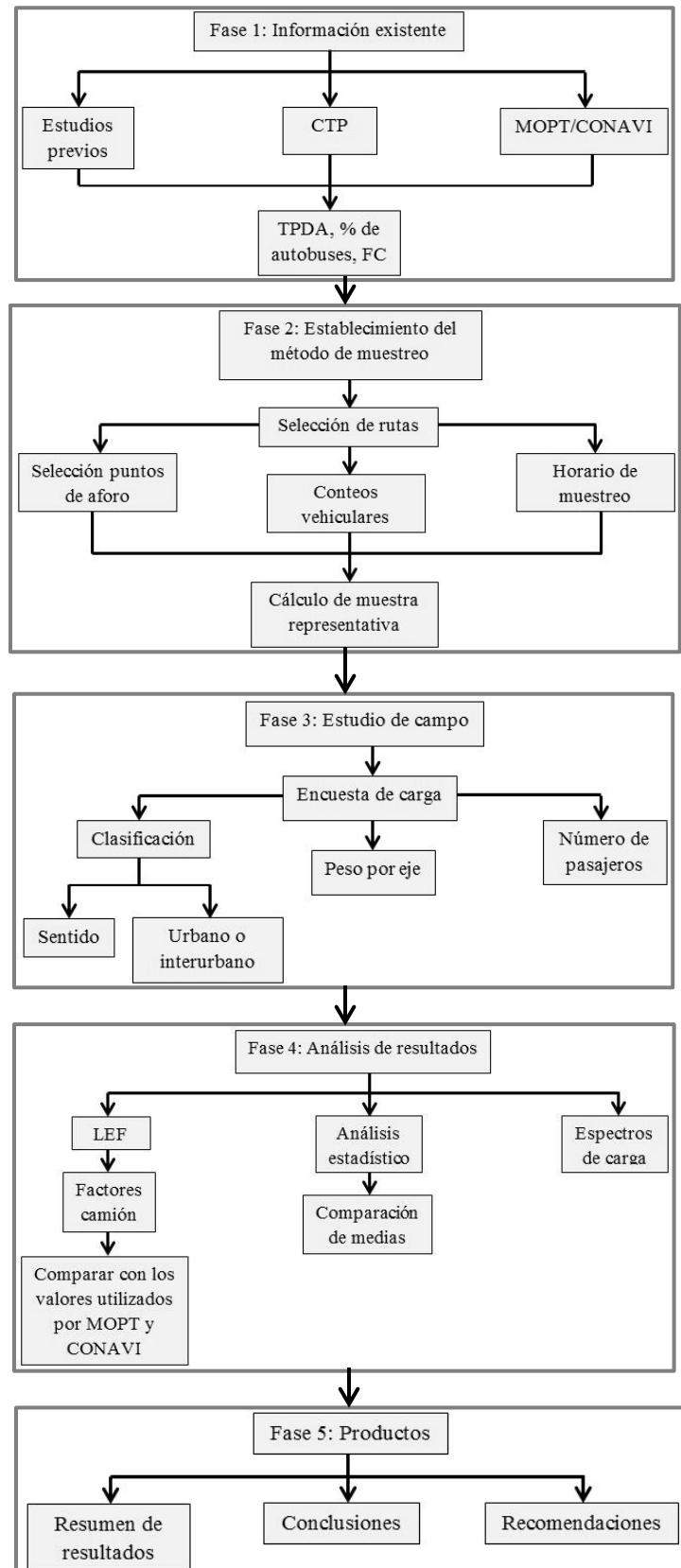
En Costa Rica el medio de transporte público más utilizado es el autobús, cientos de autobuses transportan a miles de personas cada día a través de las distintas rutas del país, tanto dentro de la Gran Área Metropolitana central como desde esta hacia zonas rurales más lejanas y viceversa, estos se clasificarán en esta investigación como autobuses urbanos e interurbanos respectivamente. El gran número de autobuses que transita a través de las vías del país combinado con la falta de control que ha habido con respecto al peso de estos vehículos crea la necesidad de realizar estudios que permitan determinar las características actuales de la flota de autobuses que trabaja dentro del territorio nacional.

Este proyecto de investigación tiene como finalidad obtener factores camión y espectros de carga sobre rutas representativas que tomen en cuenta las cargas reales de autobuses públicos (urbanos e interurbanos) permitiendo así conocer la medida del daño que este tipo de vehículos provoca sobre la superficie de rodamiento.

METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Esta investigación se compone de cinco fases principales, a continuación se presenta el diagrama de la metodología.

Figura 1: Diagrama de Metodología



Fase 1: Información Existente

La fase inicial del proyecto consistió en la recopilación de información que permitiera determinar la situación del tránsito en las principales zonas del Gran Área Metropolitana (GAM). De esta forma se logró determinar cuáles rutas contaban con las características necesarias para poder cumplir los objetivos de esta investigación.

Con el fin de obtener la información necesaria para el desarrollo del proyecto se visitaron algunas de las instituciones que realizan estudios viales o que conservan registros de los diferentes aspectos del tránsito en las carreteras del país. Algunas de las instituciones visitadas fueron el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, el Consejo de Transporte Público y el Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS-UCR), de este último se obtuvieron conteos vehiculares los cuales permitieron hacer la selección de rutas. El siguiente cuadro presenta los datos de los conteos proporcionados por ProDUS en las rutas que fueron seleccionadas para el estudio.

Tabla 2: Conteos vehiculares

Ruta	TPDA autobuses	Punto de aforo	Fecha del conteo
No. 002	1693	Ochomogo. Frente a la estación de servicio Cristo Rey	Septiembre, 2008
No. 002	1648	Caseta de peaje en Tres Ríos	Abril, 2008
No. 032	1054	100 m después del paso elevado en la ruta No. 101	Enero, 2006
No. 218	2487	Colegio Madre del Divino Pastor	Enero, 2006

Fuente: ProDUS-UCR, 2009

Fase 2: Establecimiento del Método de Muestreo

Para poder obtener resultados representativos se debe tomar en consideración los diferentes escenarios que pueden presentarse durante el proceso de muestreo, de modo que este debe ajustarse para cubrir la mayor cantidad de escenarios posibles. De esta forma se logrará una obtención de datos con características más heterogéneas, evitando así que los resultados obtenidos se vean afectados por solo unos pocos casos.

En el caso del pesaje de autobuses las principales variaciones serían el tipo de autobús y el número de pasajeros. Esta primera característica se ve afectada principalmente por la empresa a la que pertenece el vehículo, esto debido a que en Costa Rica no está permitido un único modelo de autobuses lo cual resulta en grandes variaciones entre los modelos de autobús utilizados por una empresa y otra. Esta característica afecta directamente el peso propio y el tipo de ejes del autobús. El número de pasajeros se ve afectado principalmente por el factor tiempo, en autobuses urbanos estas variaciones se presentan a lo largo del día, viajando un mayor número de personas en las horas pico. Los autobuses interurbanos presentan un comportamiento algo diferente, debido a estudios de oferta y demanda realizados por las empresas generalmente estos vehículos salen de la estación con la mayor parte de sus asientos ocupados a lo largo del día, de modo que las variaciones en el número de pasajeros dependen principalmente del día de semana (mayor demanda los días lunes y viernes) o del mes (días festivos).

Para la selección de las rutas de estudio se utilizaron los conteos proporcionados por ProDUS-UCR, sin embargo si bien es cierto que el TPDA de autobuses es un factor determinante en la selección de rutas debe tenerse en cuenta que no es el único factor de importancia. Es necesario seleccionar rutas por las que transiten distintas líneas de autobuses, ya que esto aumentará las posibilidades de que durante el proceso de muestreo se obtengan datos provenientes de diferentes modelos de autobús, factor que como se mencionó anteriormente tiene una influencia directa en el peso del vehículo.

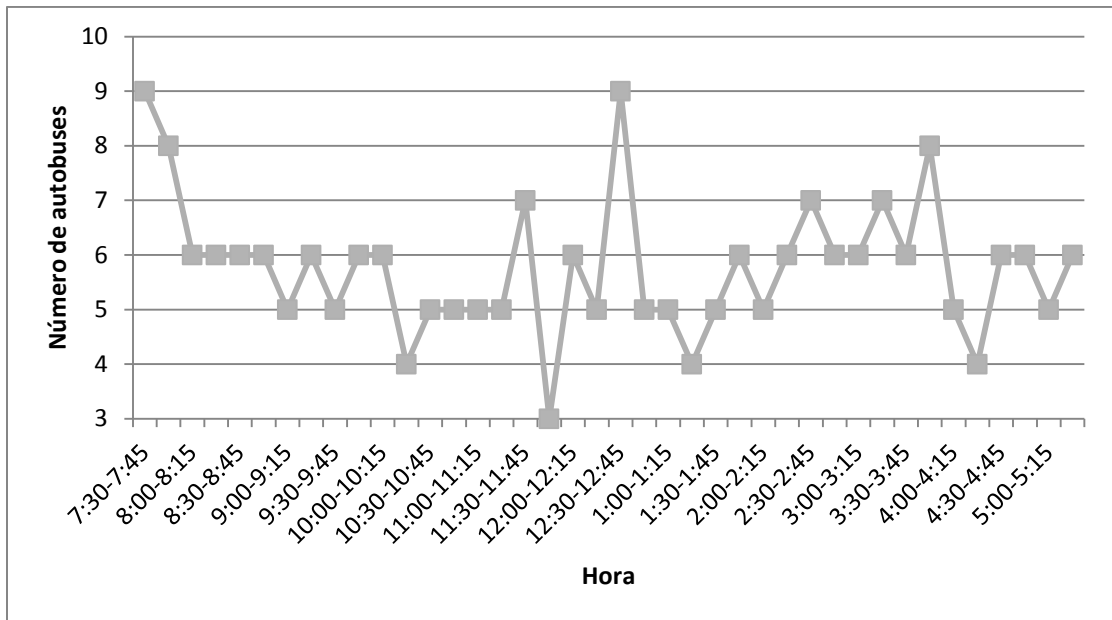
La primera de las rutas seleccionadas es la No. 218, la cual pertenece a la red vial nacional y cuenta con una longitud aproximada de 33 km. Tiene su punto inicial en Barrio la California el cual está ubicado en la provincia San José, capital de Costa Rica, en su trayecto esta ruta pasa por una serie de pequeños centros de población antes de llegar a su punto final ubicado en Barrio La Turbina. Los puntos de aforo ubicados en ruta se utilizaron principalmente para el muestreo de autobuses urbanos. Por esta ruta transitan 188 autobuses pertenecientes a tres empresas distintas.

La segunda ruta es la No. 032, perteneciente a la red vial nacional, esta cuenta con una longitud aproximada de 154 km. Esta ruta conecta la capital del país con la provincia de Limón, la cual es un destino turístico así como un punto de carga y descarga de mercancía debido a los puertos ubicados en ella, esta ruta presenta un alto volumen de autobuses interurbanos así como de transporte de carga. Los puntos de aforo ubicados en ruta se utilizaron principalmente para el muestreo de autobuses interurbanos. Por esta ruta transitan 252 autobuses pertenecientes a siete empresas distintas.

La última ruta de estudio es la No. 002, esta forma parte de la red vial nacional y cuenta con una longitud aproximada de 351 km. Esta ruta inicia en la provincia de San José, conectándola con Cartago, en este primer tramo la ruta atraviesa diversos sitios de importancia y se aprecian principalmente autobuses urbanos. Posteriormente la ruta atraviesa una serie de poblados rurales, incluyendo Pérez Zeledón el cual es su centro de población de mayor tamaño con una pequeña industria turística. Finalmente esta ruta llega a Paso Canos cerca de la frontera con Panamá, lo cual resalta su importancia en la red de carreteras del país. Los puntos de aforo ubicados en ruta se utilizaron para el muestreo de autobuses urbanos e interurbanos. Por esta ruta transitan cerca de 542 autobuses pertenecientes a 18 empresas distintas.

Una vez que se seleccionaron las rutas se procedió a escoger los puntos de aforo en los que se llevaría a cabo el proceso de pesaje. Estos puntos de aforo debían contar con características que permitieran un proceso de pesaje ágil y efectivo, tales como una baja pendiente, superficie uniforme y presencia de sobre anchos o más de un carril por sentido. Con los puntos de aforo definidos se estableció la necesidad de realizar conteos de autobuses, ya que los proporcionados por ProDUS-UCR no cuentan con un corte en el tiempo sino que son para un total de autobuses en un periodo de 24 horas, de igual manera no cuentan con una distinción por sentido.

Figura 2: Conteo vehicular en Ruta No. 218, sentido Coronado-San José



La determinación del horario de muestreo se hizo de acuerdo a la disponibilidad de los oficiales de tránsito así como de los técnicos y el equipo necesario para llevar a cabo los pesajes. Se estableció que los pesajes se realizarían de abril a junio, cuatro días al mes, en horario de 10:00 a.m. a 01:00 p.m. Utilizando los datos obtenidos durante los conteos y conociendo el período diario de muestreo se determinó el tamaño de la muestra representativa para la población de autobuses en cada ruta.

Fase 3: Estudio de Campo

Durante esta etapa se realizó la encuesta de carga para autobuses en las rutas seleccionadas. Para cada autobús se tomó el peso por eje, el sentido de viaje, el número aproximado de pasajeros, la placa y se clasificaron de acuerdo a su origen-destino como urbanos o interurbanos.

Figura 3: Proceso de pesaje



Fase 4: Análisis de resultados

Utilizando los datos de peso obtenidos durante la cuarta fase de la investigación se procedió a determinar los factores camión promedio para cada una de las rutas (en el caso de la ruta No.002 se tiene un valor promedio para cada punto de aforo) así como para autobuses urbanos e interurbanos, adicionalmente se calculó un valor promedio para el total de autobuses muestreados durante la encuesta de carga. Estos valores junto con los utilizados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y el Consejo Nacional de Vialidad se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Factores camión obtenidos

	Factor camión		
	Mínimo	Promedio	Máximo
MOPT/CONAVI (Diseño)	1.25	1.71	2.29
Clasificación			
Urbanos	0.17	1.02	3.86
Interurbanos	0.48	2.88	5.64
Ruta			
No. 218	0.22	1.01	2.35
No. 032	0.33	2.90	5.64
No. 002	0.17	1.19	4.63
No. 002-Curridabat	0.17	0.85	3.06
No. 002-Ochomogo y La Lima	0.32	1.83	4.63
Total	0.17	1.34	5.64

Para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias del factor camión de una ruta y otra, así como entre los autobuses urbanos e interurbanos, se determinaron pruebas de análisis de varianzas (ANOVA) de un solo factor con un nivel de confianza del 95 %. Se llevaron a cabo cuatro análisis de varianza distintos, en el primero se compararon las medias de los factores camión de los autobuses de la ruta No. 218 con los de la ruta No. 002-Curridabat ya que ambos puntos de aforo estaban dirigidos principalmente al muestreo de autobuses urbanos. El segundo análisis se hizo para las medias de la ruta No. 032 y la ruta No. 002-Ochomogo y La Lima, donde se muestrearon principalmente autobuses interurbanos. El tercer análisis tenía como objetivo determinar si existen diferencias significativas entre los factores camión de los autobuses que se pesaron en los dos puntos de aforo de la ruta No. 002. Finalmente en el cuarto análisis de varianza se hizo una comparación entre los factores camión de los autobuses clasificados como urbanos y los clasificados como interurbanos. La siguiente tabla muestra los valores de significancia P y de F de Fisher obtenidos para cada análisis.

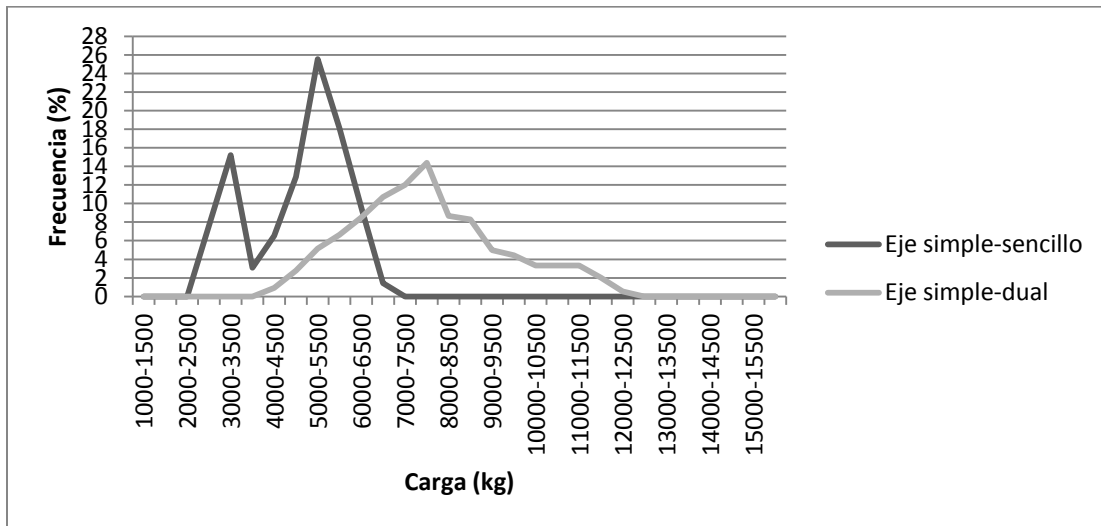
Tabla 4: Análisis de varianza

Factores camión a comparar		F de Fisher	Significancia P
Ruta No. 218 (URB)	Ruta No. 002-Curridabat (URB)	9.63	0.002
Ruta No. 032 (INT)	Ruta No. 002-Ochomogo y La Lima (INT)	31.62	0.000
Ruta No. 002-Curridabat URB	Ruta No. 002-Ochomogo y La Lima (INT)	142.45	0.000
Autobuses URB	Autobuses INT	458.15	0.000

Como se muestra en la Tabla 4 Para todos los análisis de varianza se obtuvieron valores altos de F y valores de significancias inferiores a 0.05, lo cual permite rechazar la hipótesis nula de que las medias son iguales al 95% de significancia, estableciéndose por lo tanto que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los factores camión de cada grupo de autobuses comparados.

Finalmente haciendo uso de los datos obtenidos durante el estudio de campo se generan los espectros de carga, con los cuales puede conocerse la frecuencia de peso en las carreteras para cada tipo de eje. La siguiente figura corresponde al espectro de carga de la totalidad de los autobuses C2 muestreados durante la investigación.

Figura 4: Espectro de carga para totalidad de muestras



Fase 5: Productos

Como se observa en la Tabla 3 los factores camión para autobuses utilizados por el MOPT y CONAVI son muy elevados en el caso de autobuses urbanos y muy bajos en el caso de autobuses interurbanos en el caso de las rutas estudiadas, esto crea problemas en rutas como la No. 032, por la cual transitan principalmente autobuses que viajan a lugares fuera del Gran Área Metropolitana. Se observa también que hay diferencias considerables entre

los factores camión promedio de una ruta y otra, e incluso en diferentes tramos de un mismo corredor. Esta afirmación se confirma mediante el análisis ANOVA, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

El espectro de carga en la Figura 4 muestra que cerca del 12 % de los ejes delanteros exceden el peso límite de seis toneladas, en el caso de los ejes traseros alrededor del 13 % exceden el peso máximo establecido de 10 toneladas. Esto genera carga adicional en el pavimento y es especialmente dañino en el caso del eje delantero, debido a que este tiene un área de contacto menor.

CONCLUSIONES

Los factores camión empleados por el MOPT y CONAVI no son representativos para la flota de autobuses de Costa Rica debido a que están muy generalizados y no toman en cuenta las variaciones que pueden presentarse de una ruta a otra o en diferentes tramos de un mismo corredor.

Se pueden presentar diferencias significativas entre los factores camión de autobuses de una ruta y otra. No es una buena práctica utilizar un valor de factor camión general sino que debe determinarse como mínimo un valor específico para cada uno de los principales corredores del país, que presente características homogéneas de arco, urbano o interurbano.

Es imperativo que se apliquen medidas de control al peso de los autobuses, ya que aquellos que exceden el peso máximo permitido, especialmente en el eje delantero, generan daño adicional en la estructura de pavimentos lo cual reduce su vida útil, y genera gastos adicionales por parte de la administración en rehabilitación y reconstrucción. Esto se puede hacer colocando estaciones de pesaje en los principales corredores de autobuses urbanos e interurbanos, y controlar las cargas máximas permitidas por los mismos, y así evitar el deterioro prematuro de ciertos corredores por las cargas impuestas.

REFERENCIAS

- Allen, J., Badilla, G. (2011). Determinación de la carga de diseño para pavimentos flexibles en Costa Rica. XVI Congreso Ibero-Latinoamericano de Asfalto, Brasil.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C: AASHTO.
- Badilla, G., Allen, J. (2007). Encuesta de carga (Proyecto # PI-01-PIIVI-2007). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LANAMME San José, Costa Rica.
- Huang, Y. (1993). *Pavement analysis and design*. New Jersey: Prentice Hall.
- Zarate, M. (2001). *Diseño de pavimentos flexibles*. Distrito Federal: Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.