

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-008-P

PROPUESTA DE LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CARGA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS EN COSTA RICA

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Marzo, 2013

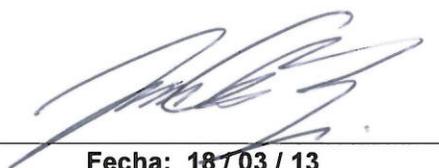
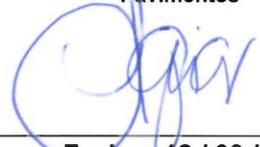
1. Informe LM-PI-UMP-008-P		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: PROPUESTA DE LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CARGA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS EN COSTA RICA		4. Fecha del Informe Marzo, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p><i>Con la presente propuesta de Línea de Investigación, se pretende determinar los parámetros más representativos en la modelación de las cargas a las que se someten las carreteras en Costa Rica. Esto, con la finalidad de servir como insumo para la futura Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para nuestro país.</i></p> <p><i>La propuesta de Línea de Investigación de Carga se plantea en cuatro fases principales como se explica a continuación: La primera fase corresponde a una recopilación de datos en campo y su posterior análisis, con el fin de estudiar cuatro parámetros principales que corresponden a carga, presión de inflado, desviación lateral de llanta y tránsito. Esto resultará en una base de datos de parámetros de carga medidos en campo. Esta fase será realizada por medio de proyectos de investigación que desarrollarán la Unidad de Materiales y Pavimentos, Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR, y trabajos finales de graduación.</i></p> <p><i>La segunda fase denominada "Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural", consiste en la modelación de los parámetros estudiados y cuantificados en la primera fase con el fin de predecir la respuesta del pavimento ante los distintos parámetros de carga.</i></p> <p><i>La tercera fase consiste en la modelación de los estadísticos de carga con sus variaciones.</i></p> <p><i>Por último, la cuarta fase corresponde a la verificación y/o comprobación de modelos de falla. Esta fase consiste en desarrollar diferentes experimentos a escala natural, que permitan realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros de carga y su influencia en las variaciones en el criterio de falla.</i></p>		
10. Palabras clave CARGA, PAVIMENTOS, DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS, MODELACIÓN, ELEMENTO FINITO	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 23
13. Preparado por: Ing. Jaime Allen Monge, MSc Investigador-PITRA  Fecha: 18/03/13		
14. Revisado por: Ing. Gustavo Badilla Vargas Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 18/03/13	Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 18/03/13	15. Revisado por: Ing. Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 18/03/13

TABLA DE CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS GENERALES	4
3. ANTECEDENTES	4
4. ESQUEMA CONCEPTUAL.....	7
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
7. PROPUESTA BASE: PARÁMETROS DE CARGA	10
7.1. FASE 1: RECOPIACIÓN DE DATOS EN CAMPO Y SU ANÁLISIS	11
7.2. FASE 2: DESARROLLO DEL SISTEMA DE MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	16
7.3. FASE 3: MODELACIÓN DE ESTADÍSTICOS DE CARGA.....	17
7.4. FASE 4: CALIBRACIÓN DE MODELOS DE FALLA.....	18
8. RECURSOS Y CALENDARIZACIÓN	20
8.1. FASE 1: RECOPIACIÓN DE DATOS EN CAMPO Y SU ANÁLISIS	20
8.2. FASE 2: DESARROLLO DEL SISTEMA DE MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	20
8.3. FASE 3: MODELACIÓN DE ESTADÍSTICOS DE CARGA.....	20
8.4. FASE 4: CALIBRACIÓN DE MODELOS DE FALLA.....	21
8.5. RECURSOS FINANCIEROS:.....	21
9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
11. GLOSARIO	22
12. ANEXO: PROPUESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PARÁMETROS DE CARGA	23

1. DESCRIPCIÓN:

Los principales insumos para realizar un adecuado diseño de pavimentos son de diversa índole dada la gran cantidad de factores que afecta el desempeño de éstos; por tanto, es importante caracterizar las cargas de tránsito, los materiales y su variación con el entorno geológico y climático; así como modelar estos factores y definir los criterios de falla acorde con la realidad en cada caso: país, región o macro-región.

Con esta propuesta de Línea de Investigación se pretende investigar detalladamente uno de los principales insumos en el diseño de pavimentos: el factor carga. La primera fase incorpora la recopilación de la información en campo; además, se incorporan, como parte de la macro-investigación, tres fases de modelación de los parámetros de carga para Costa Rica; con la finalidad de calibrar adecuadamente una Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica.

2. OBJETIVOS GENERALES:

- Cuantificar en campo los parámetros de carga en carretera más representativos para Costa Rica.
- Modelar, con base en la información anterior, los parámetros de carga, en términos de diseño estructural de pavimentos.

3. ANTECEDENTES:

En el año 2004, la Unidad de Investigación del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, inició una revisión y exposición de la Guía de Diseño Mecánico-Empírico 2002. Un esquema de la filosofía de la Guía 2002 se presenta a continuación:

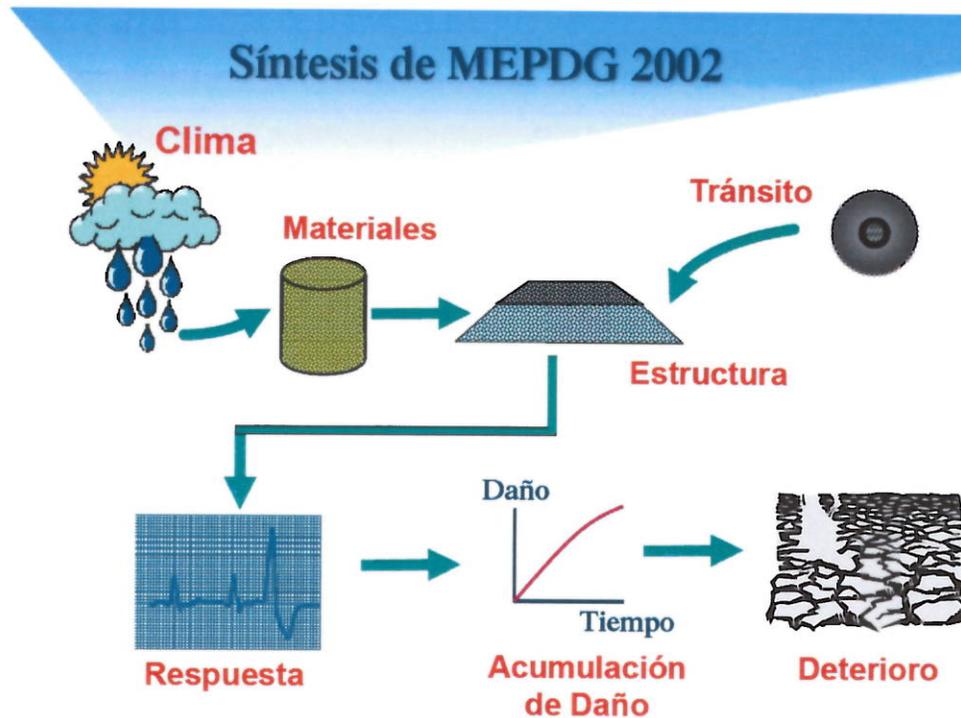


Figura 1. Esquema de Guía MEPDG 2002. Adaptado de: Kazanovich, 2005.

Motivados por la emisión de la guía y en concordancia con las prácticas actuales de la ingeniería de pavimentos, surgieron varios proyectos de investigación relacionados con las variables más importantes de dicha guía. Los mismos se desarrollaron y se completaron por la Unidad de Investigación-PITRA, además de Proyectos Finales de Graduación:

- Zonificación Climática.
- Asfaltos modificados, granulometrías SMA y densas.
- Desempeño en deformación permanente.
- Resistencia al daño por humedad.
- Módulo resiliente y curva maestra en mezclas asfálticas.
- Variación estacional de módulos.
- Módulos resilientes sobre materiales granulares.
- Encuesta de Carga.

En resumen, se investigaron varios aspectos relacionados con el comportamiento de los materiales para el diseño de pavimentos y se realizó investigación sobre zonificación climática, y variación estacional de módulos. En lo que concierne a la encuesta de carga, en el 2007 la Unidad de Investigación del PITRA-LanammeUCR presentó los resultados

obtenidos en una Encuesta de Carga a vehículos de carga y buses, realizada entre el 2005 y 2006, en ocho carreteras principales de Costa Rica. En el estudio se determinó que los Factores Camión Típicos empleados para el diseño de carretera en Costa Rica subestimaba el peso real de los vehículos, puesto que los Factores Camión obtenidos en las mediciones realizadas eran muy superiores (Badilla et al., 2007).

Conscientes de las debilidades existentes en el control de cargas de los vehículos que circulan por las carreteras y a la ausencia de puestos de pesaje en las principales rutas del país, el MOPT-CONAVI inició en noviembre del 2008 el control de vehículos de carga en varias rutas nacionales. Con ayuda de la base de datos suministrada por el Departamento de Pesos y Dimensiones, el LanammeUCR analizó la información de pesaje (entre los años 2008 hasta 2010) para darle seguimiento adecuado a la información de las cargas que transitan, la formulación de modelos y su inclusión como parámetro de entrada en los procedimientos de diseño estructural de pavimentos. A continuación se presenta la información que se generó gráficamente, después del proceso de análisis.

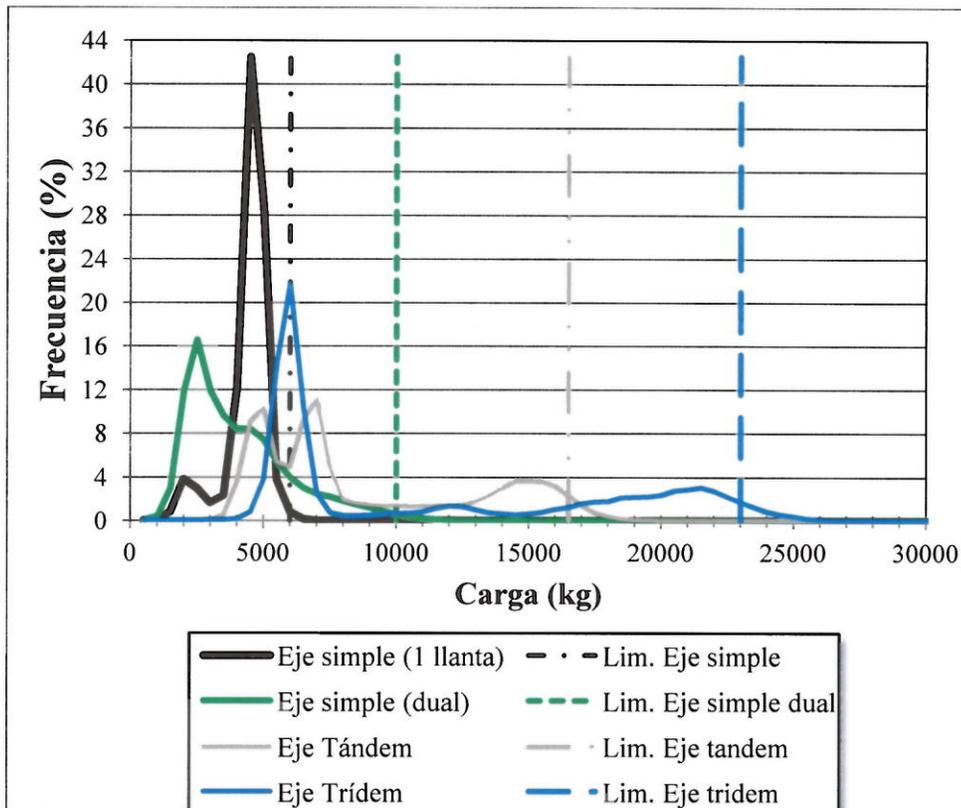


Figura 2. Espectro de Carga. Fuente: Allen y Badilla, 2011.

Con este análisis se logra el objetivo principal propuesto con la Encuesta de Carga: obtener los espectros de carga para las carreteras principales del país. De esta investigación y otras investigaciones que se realizan actualmente en la Unidad de Materiales y Pavimentos-PITRA, surge la necesidad de formular una Línea de Investigación macro sobre el tema Parámetros de Carga de modo que coadyuve a la creación de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica.

4. ESQUEMA CONCEPTUAL:

A continuación se presenta una figura que conceptualiza los principales factores de carga que afectan el desempeño estructural de un pavimento; en esto se basa la presente propuesta.

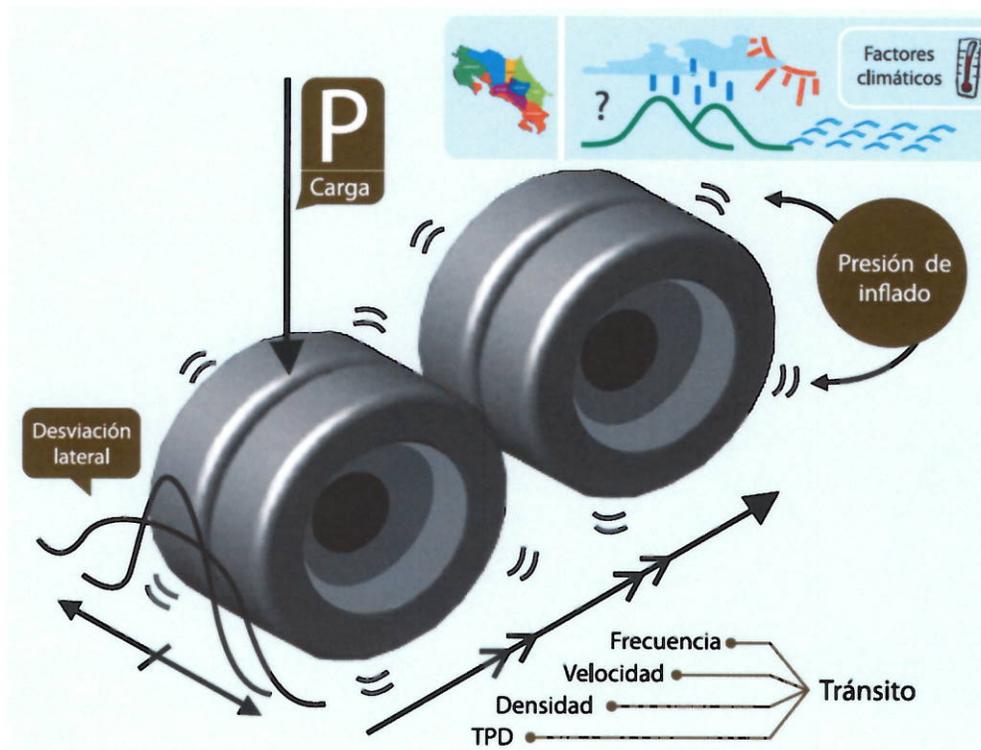


Figura 3. Esquema Conceptual: Parámetros de Carga, LanammeUCR, 2012.

La Carga (P) se refiere a la magnitud de carga; la desviación lateral de la llanta consiste en la distribución estadística de la posición lateral del eje central de cada pasada de llanta en un carril específico; la presión de inflado determina el estado de inflado de las llantas. Los parámetros de tránsito: frecuencia, velocidad, densidad y tránsito promedio diario (TPD), determinan la cantidad de vehículos de diseño y la velocidad o frecuencia de la carga. Los parámetros anteriores en conjunto formarán la base para la presente investigación.

Los modelos de falla a los que nos referimos en la presente propuesta son: modelos de falla por fatiga y por deformación permanente de la mezcla asfáltica a escala de laboratorio; actualmente se realizan investigaciones en la Unidad de Materiales y Pavimentos, y se están obteniendo ecuaciones de falla propias para las mezclas asfálticas costarricenses. Sin embargo, esto no limita poder realizar modelos de falla para otras secciones del pavimento y diferentes materiales, en futuros proyectos de investigación.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar mediante un análisis bibliográfico los principales parámetros de carga para el diseño estructural de pavimentos.
- Desarrollar una base de datos de parámetros de carga medidos en campo.
- Cuantificar estadísticamente mediante mediciones in situ los valores típicos para Costa Rica de los principales parámetros de carga para el diseño estructural de pavimentos.
- Desarrollar un sistema de modelación estructural mediante la teoría del elemento finito (FE) para los parámetros de carga típicos para diseño de pavimentos en Costa Rica.
- Verificar teóricamente mediante análisis de sensibilidad el modelo de respuesta de estructuras de pavimentos típicos de Costa Rica, basado en cada una de las distribuciones estadísticas de los principales parámetros de carga definidos.
- Contribuir a la calibración de los modelos de falla generados basados en ensayos a escala natural realizados en el Pave-Lab (Simulador de Vehículos Pesados, HVS).

6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Importancia práctica.

Actualmente no existe una Guía de Diseño Estructural de Pavimentos calibrada para Costa Rica. Esta macro-investigación dotará de la información relativa a parámetros de carga y a su modelación, para incorporarse a la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica.

Relevancia social e implicaciones prácticas.

Contar con una Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica logrará el objetivo de optimizar recursos en el diseño de proyectos de pavimentos. Actualmente se diseña con guías importadas de otros países, que no han sido calibradas para el medio costarricense, lo cual ocasiona que muchas veces se subestimen o sobreestimen espesores, lo que generalmente resulta en una inadecuada inversión de recursos y un mal desempeño de las obras.

Valor teórico y utilidad metodológica.

Con el desarrollo de esta macro-investigación, se desarrollará conocimiento y experiencia en materias muy diversas, tales como:

- Diseño de experimentos de tránsito.
- Diseño de experimentos de recopilación de parámetros de carga in situ.
- Análisis estadístico y desarrollo de distribuciones estadísticas de los parámetros analizados.
- Modelación estructural avanzada en software de elemento finito.
- Calibración de modelos de deterioro con ensayos a escala natural.

7. PROPUESTA BASE: PARÁMETROS DE CARGA

La propuesta de Línea de Investigación se plantea en cuatro fases, en la Figura 4, se muestra el esquema de investigación completo:

- 1) Fase 1: Recopilación de Datos en Campo y su Análisis.
- 2) Fase 2: Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural.
- 3) Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga.
- 4) Fase 4: Calibración de Modelos de Falla.

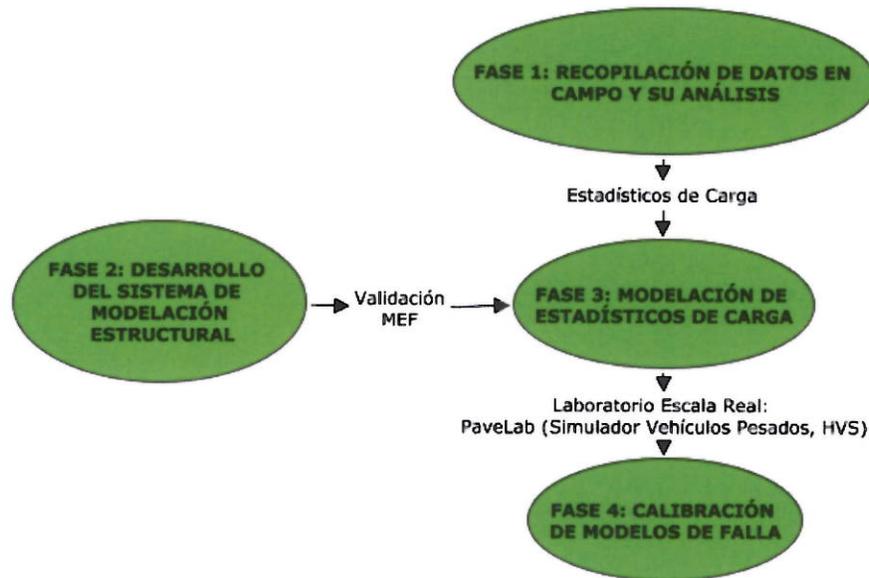


Figura 4. Propuesta Base: Parámetros de Carga, 2012.

7.1. Fase 1: Recopilación de Datos en Campo y su Análisis

Esta fase comprende la definición de los parámetros de carga a estudiar. A la fecha, se han identificado cuatro parámetros principales: carga, presión de inflado, desviación lateral de llanta y tránsito vehicular. El tránsito vehicular se entiende como frecuencia, densidad, velocidad y tránsito promedio diario. Se determinó dejar por fuera el parámetro factores climáticos, puesto que se considera que influye principalmente en las propiedades de los materiales, que se analizan en otros proyectos paralelos. A continuación se presentan las sub-líneas específicas para los parámetros: Carga, Presión de Inflado, Desviación Lateral de Llanta y Tránsito Vehicular.

a) Parámetro Carga:

El parámetro carga o magnitud de carga es el elemento más importante en tomar en consideración a la hora de diseñar. Se ha demostrado empíricamente y mediante modelación que a medida que aumenta la magnitud de la carga, aumenta exponencialmente el deterioro que recibe el pavimento, aproximadamente en un factor de 4 para pavimentos flexibles. El pavimento se diseña para soportar éstas cargas repetidas en un período determinado sin afectar su funcionalidad. Por lo tanto, se propone continuar con la recopilación y análisis de los datos de las estaciones de pesaje, en tanto la Administración facilite la información, y continuar generando espectros de carga. Adicionalmente, se realizará un proyecto de graduación que estudie el peso de los autobuses.

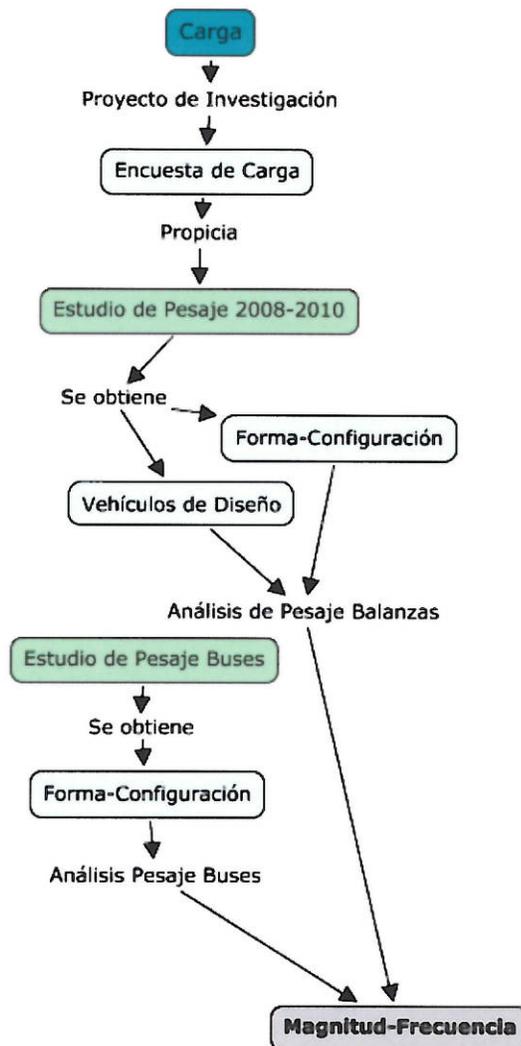


Figura 5. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Factor Carga, 2012.

b) Presión de Inflado:

La carga es transmitida del vehículo al pavimento a través de las llantas. Cada neumático reparte la carga que le corresponde a través de su presión de inflado, siendo ésta, la presión unitaria que recibe el pavimento. Para un mismo tipo de llanta, la carga unitaria que transmita dependerá de su presión de inflado. La presión de inflado por el área de contacto de la llanta resulta en el peso total de la carga sobre el pavimento. Para el estudio de este parámetro se propone dirigir dos proyectos de graduación que permitan recopilar y analizar la información de campo.

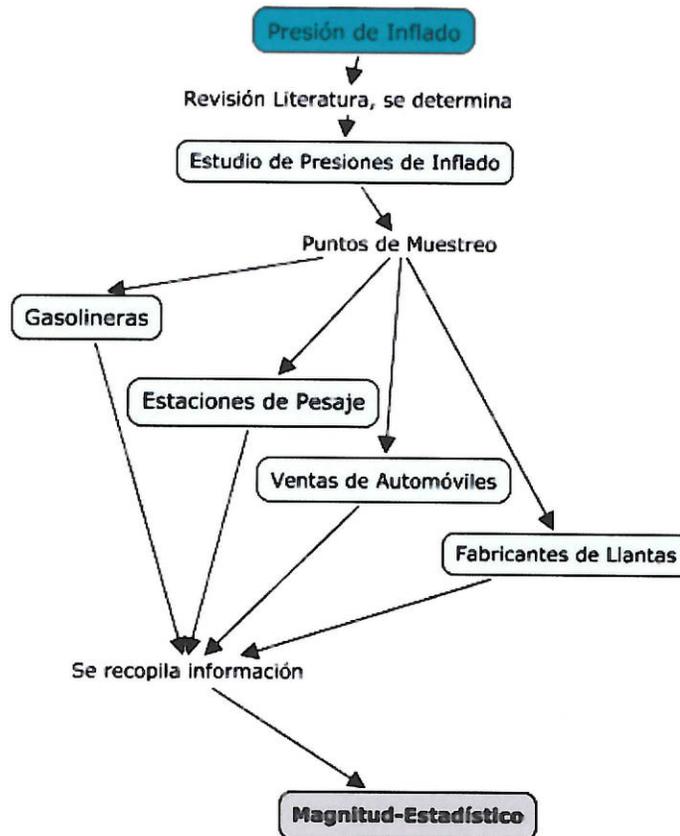


Figura 6. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Presión de Inflado, 2012.

c) Desviación Lateral de Llanta:

La desviación lateral de la llanta ("Wheel Wander"), o distribución lateral de la cargas de las ruedas, es un fenómeno natural observado en las carreteras abiertas al público. Desde el punto de vista del diseño y desempeño de los pavimentos, la desviación de la llanta se convierte en un parámetro crítico, puesto que éste define el lugar y la frecuencia con el cual un punto del pavimento es sometido a la carga del vehículo. En general, si no existiera el fenómeno del desvío de la llanta se generaría un daño mucho mayor en el pavimento, puesto que todas las cargas se concentrarían en un solo punto, en cada huella.

Para el estudio de este parámetro se propone dirigir un proyecto de graduación que permita recopilar y analizar la información de campo.



Figura 7. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Desviación Lateral de Llanta, 2012.

d) Tránsito Vehicular:

Para modelar las cargas correctamente es necesario determinar la frecuencia, velocidad, volumen y clasificación vehicular de la flotilla en cada proyecto. Los anteriores parámetros son necesarios para determinar la cantidad de vehículos de cada tipo que están pasando diariamente, pues sólo los vehículos más pesados nos interesan para el diseño de pavimentos. La velocidad también es importante obtenerla, pues los materiales que componen los paquetes estructurales pueden tener un comportamiento visco-elástico; sus propiedades dependen de la frecuencia de carga. Por esto, será necesario obtener perfiles de velocidad de los vehículos de diseño.

Para el estudio de este parámetro se propone formular una “Sub-Línea de Investigación” en el Área de Ingeniería de Tránsito, para la que se realizará una propuesta en la Unidad de Seguridad Vial y Transporte de PITRA-LanammeUCR. La línea indicada contiene un diagnóstico sobre la información existente correspondiente a los parámetros de tránsito. La línea de investigación se realizará con varios Proyectos de Graduación y Proyectos de Investigación realizados por los profesionales de ésta unidad.

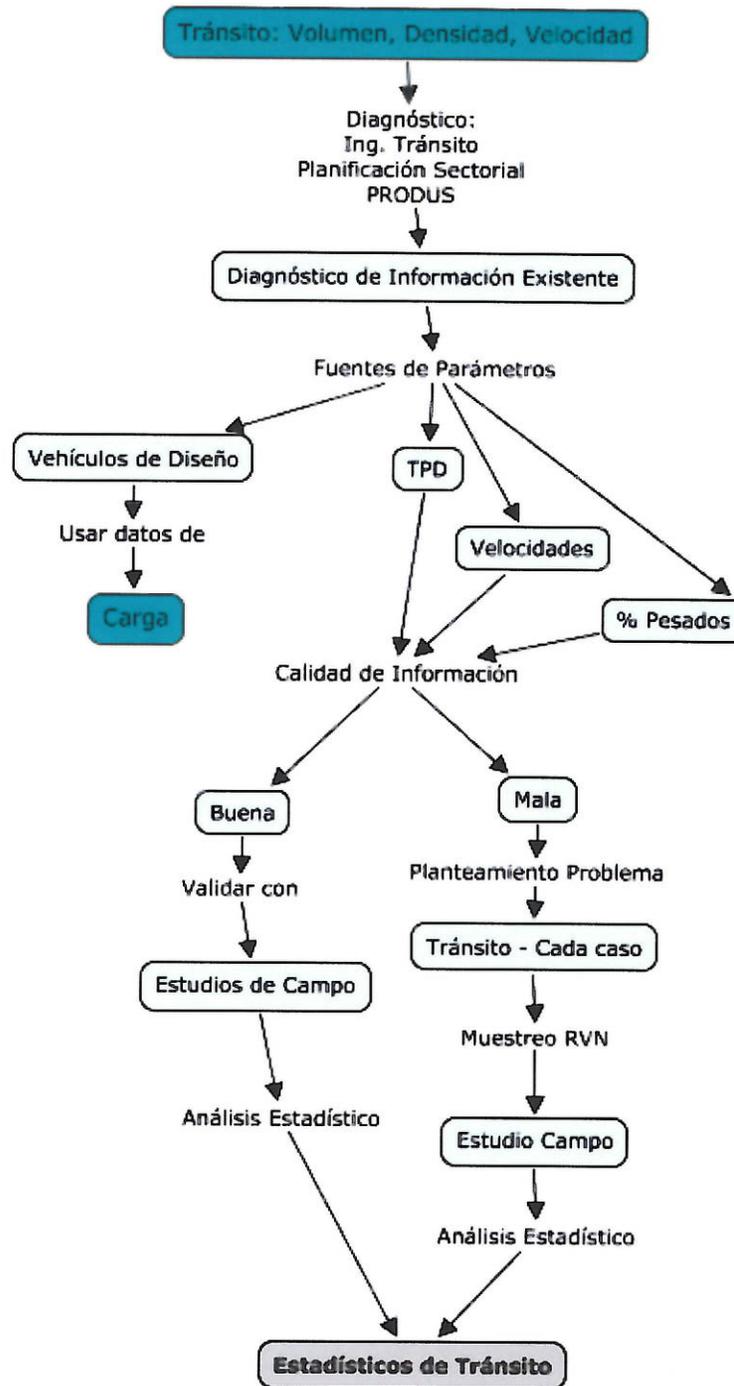


Figura 8. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Tránsito, 2012.

7.2. Fase 2: Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural

En esta fase se propone desarrollar y validar un modelo de análisis estructural a través de un software que permita modelar los diferentes parámetros de carga estudiados y cuantificados en la Fase 1, con sus distribuciones estadísticas; y predecir correctamente la respuesta del pavimento. Esta fase corresponde a un proyecto de investigación en curso realizado por la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR, en la que se está generando un algoritmo para modelar pavimentos flexibles usando la técnica del elemento finito. Para tal efecto se utiliza el software ABAQUS®. A continuación se presenta el esquema general.

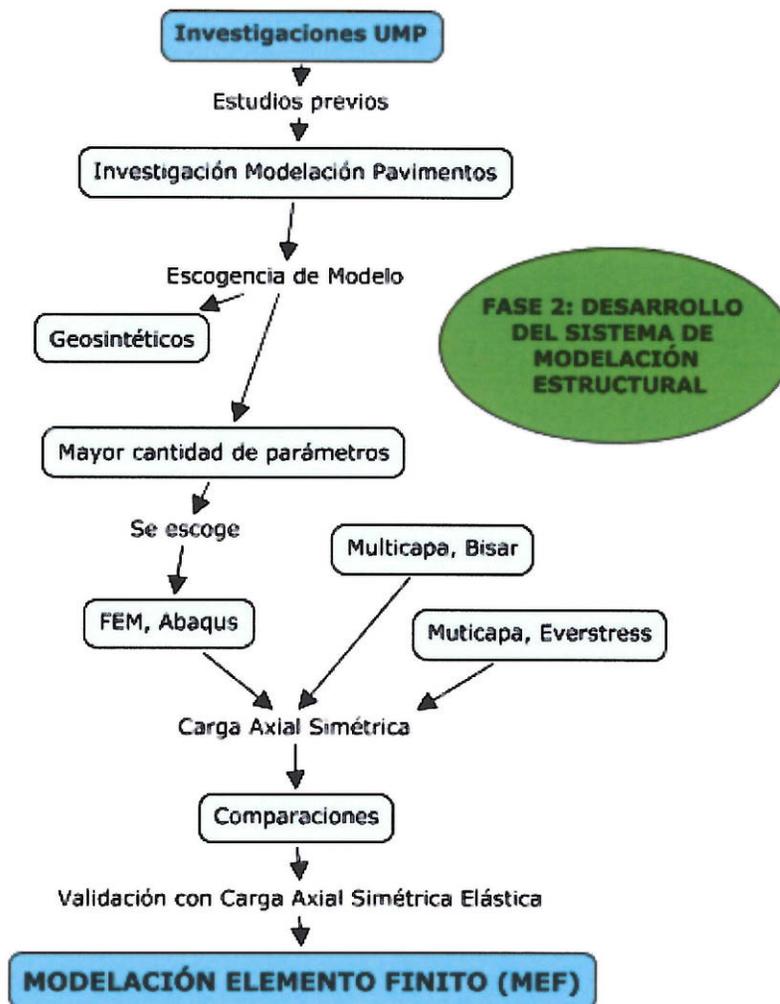


Figura 9. Fase 2: Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural.

7.3. Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga

En esta fase se propone modelar todos los estadísticos de carga con sus variaciones, a través del sistema de modelación estructural escogido. Actualmente se está realizando una primera investigación con la modelación de cargas duales, tándem y tridem en el software de modelación de elemento finito ABAQUS®. A continuación se presenta el esquema general de lo que se busca lograr en dicha fase.

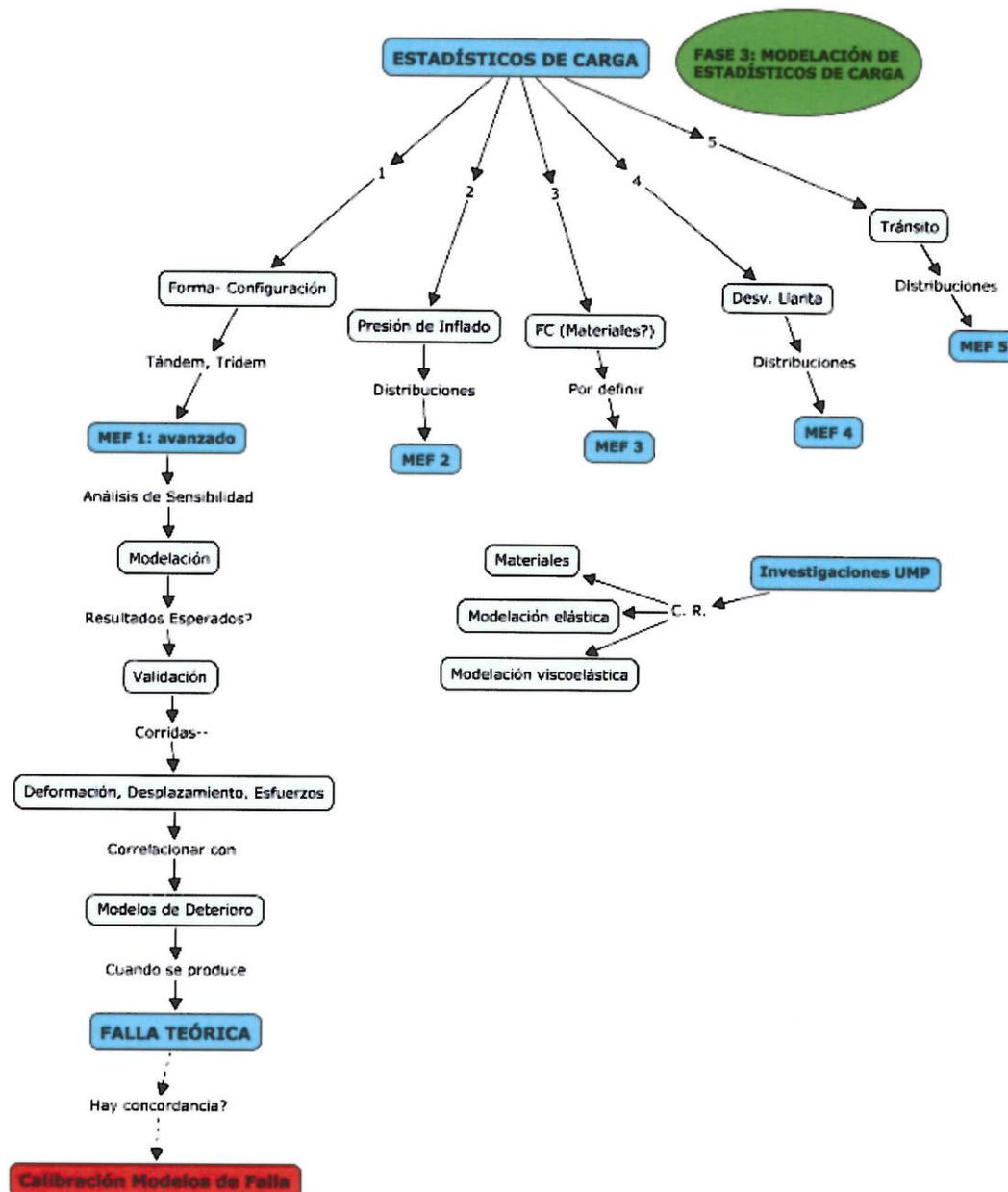


Figura 10. Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga.

Se propone que dichas modelaciones sean realizadas como parte del trabajo ordinario de la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR, ya sea mediante Proyectos de Graduación o Proyectos de Investigación Aplicada. Cabe notar que para esto será necesario capacitar a investigadores en el uso del software ABAQUS®.

7.4. Fase 4: Calibración de Modelos de Falla

En esta fase se propone investigar los parámetros de carga con el equipo PaveLab (Simulador de Vehículos Pesados HVS) que se incorporó el año 2012 al LanammeUCR. Una vez que dicho equipo sea instrumentado y calibrado, además de instrumentar secciones o estructuras de pavimento en el laboratorio y campo; se podrá definir diferentes experimentos para realizar análisis de sensibilidad de los parámetros de carga, para así cuantificar las variaciones en el criterio de falla, y validar las modelaciones previamente realizadas. Para tal efecto, se propone realizar la investigación como parte del trabajo ordinario de la Unidad de Materiales y Pavimentos, mediante Proyectos de Investigación Aplicada.

Los resultados obtenidos se podrán comparar con los resultados obtenidos en la Fase 3, y así realizar calibraciones de los modelos de falla. A continuación se presenta el esquema general.

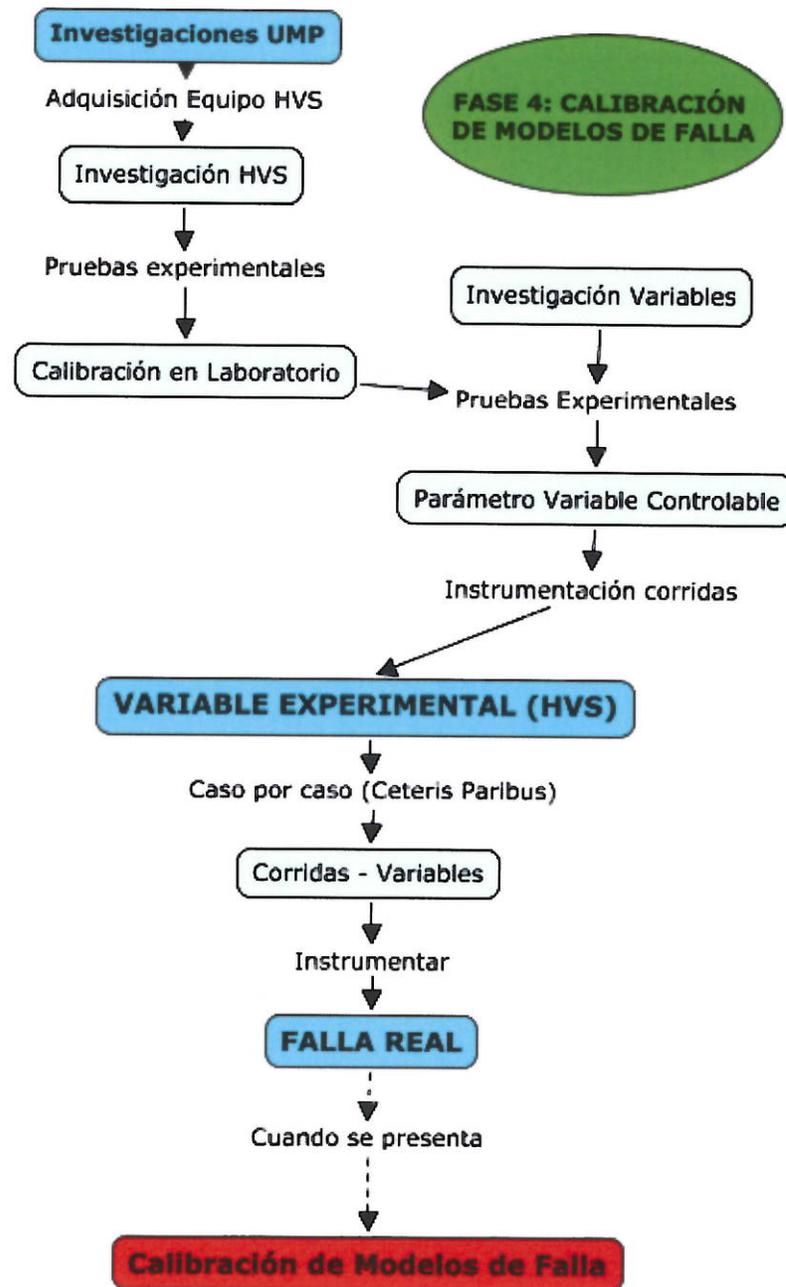


Figura 11. Fase 4: Calibración Modelos de Falla.

En el Anexo se muestra la gráfica con todas las fases de la investigación de la propuesta presentada.

8. RECURSOS Y CALENDARIZACIÓN

8.1. Fase 1: Recopilación de Datos en Campo y su Análisis

- Equipo de medición para carga, balanzas dinámicas (Carga).
- Equipo de medición de presión de inflado (Presión de Inflado).
- Equipo de medición de presiones en huella de la llanta, capaz de reproducir imágenes en 3D de distribución de presiones (Carga, Presión de Inflado).
- Equipo para grabación de video y procesamiento de la información (Desviación Lateral de la Llanta).
- Equipo de conteo vehicular: contadores de vehículos, sensores o radares, cámaras de video; capacidad de reproducir parámetros y estadísticos de: clasificación vehicular, densidad, flujo y velocidades de operación (Tránsito Vehicular).
- Software para Generación de Bases de Datos (Administración), tipo Access®.
- Software estadístico: tipo SAS®, JMP®, SPSS® o R®.
- Investigadores a cargo de los proyectos con experiencia en investigación aplicada y de campo, Unidad de Materiales y Pavimentos, Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR.
- Estudiantes de último año de Licenciatura en Ingeniería Civil y/o Maestría en Ingeniería de Transportes, y estudiantes de horas asistentes.

Tiempo: 2.5 años.

8.2. Fase 2: Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural

- Investigador a cargo del proyecto con experiencia en modelación estructural, Unidad de Materiales y Pavimentos.
- Software de modelación de elemento finito: ABAQUS®.

Tiempo: Concluido.

8.3. Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga

- Investigadores a cargo del proyecto con experiencia en modelación estructural, Unidad de Materiales y Pavimentos y estudiantes de último año de Licenciatura en Ingeniería Civil y/o Maestría en Ingeniería de Transportes.

Informe LM-PI-UMP-008-12	Fecha de emisión: 18 de marzo de 2013	Página 20 de 23
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

- Software de modelación de elemento finito: ABAQUS®.

Tiempo: 1 año después de concluida la Fase 1.

8.4. Fase 4: Calibración de Modelos de Falla

- Material y recursos para construcción de tramos de prueba para cada parámetro.
- Se requerirá la caracterización de los materiales para la construcción de los tramos de prueba, incluidos dentro de otra Línea de Investigación (Materiales).
- Investigadores a cargo del proyecto con experiencia en tramos de prueba y pistas a escala natural e investigadores a cargo del proyecto con experiencia en modelación estructural, Unidad de Materiales y Pavimentos.

Tiempo: 2 años después de Instrumentado y Calibrado PaveLab-HVS (disponibilidad),

--o 2 años después de concluida la Fase 3.

8.5. Recursos Financieros:

- Fondos Ley 8114.
- A través de Unidad de Materiales y Pavimentos y Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR.

Parámetros de Carga: Ruta crítica 5,5 años.

9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente Línea de Investigación no se incluyen análisis de los siguientes elementos:

- Clima.
- En la parte de Materiales, se requerirá el avance de la caracterización de los materiales empleados en las estructuras a fallar con el HVS.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, J.; BADILLA, G. *XVI CILA CONGRESO IBEROAMERICANO DEL ASFALTO, IBP2134_11 – DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN COSTA RICA*. 2011.

- BADILLA, G.; ALLEN, J.; ULLOA, A.; SIBAJA, D. *Encuesta de Carga: Determinación de Factores Camión en pavimentos de Costa Rica*. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. LanammeUCR. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 2007.
- BADILLA, G.; MOLINA, D. *Incidencia de las estaciones de pesaje móvil en los Factores Camión en en pavimentos de Costa Rica*. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. LanammeUCR. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 2009.
- DIARIO OFICIAL DE COSTA RICA. *Reglamento de circulación con base en Peso y Dimensiones*. La Gaceta No. 13, miércoles 19 de enero del 2005.
- KAZANOVICH, L. *Overview of the MEPDG Pavement Design Guide*. 2002 (Internet).
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. *Appendix AA: Traffic Loadings. Guide for Mechanistic-Empirical Design*. Illinois. 1999

11. GLOSARIO

Abaqus: Programa de análisis con elemento finito.
 Access: Programa de bases de datos.
 Bisar: Programa de modelación mecánica.
 CONAVI: Consejo Nacional de Vialidad.
 C.R.: Costa Rica.
 FC: Factores Climáticos.
 FEA: Finite Element Analysis.
 FEM: Finite Element Modeling.
 HVS: Heavy Vehicle Simulator.
 JMP: Programa estadístico.
 MEF: Modelación con Elemento Finito.
 MEPDG: Mechanical Empirical Pavement Design Guide.
 MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
 PaveLab: Pavement Laboratory.
 SAS: Programa estadístico.
 SPSS: Programa estadístico.
 TPD: Tránsito promedio diario.
 UMP: Unidad de Materiales y Pavimentos

12.ANEXO: PROPUESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: PARÁMETROS DE CARGA