

IAG93-03-2013
PROPUESTA DE LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CARGA PARA DISEÑO
ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS EN COSTA RICA

Jaime Allen Monge
jaime.allenmonge@ucr.ac.cr
Luis Guillermo Loría Salazar
luis.loriasalazar@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

Resumen

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. 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. 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. La tercera fase consiste en la modelación de los estadísticos de carga con sus variaciones. 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.

Resumo

Com esta linha de pesquisa procura-se determinar os parâmetros mais representativos na modelação das cargas a que são submetidos os pavimentos na Costa Rica. Isto com a finalidade de servir como um insumo para a futura Guia de Dimensionamento Estrutural de Pavimentos para nosso país. A Linha de Pesquisa de Carga proposta está definida em quatro fases principais, como explica-se a seguir: A primeira fase corresponde a uma recopilção de dados de campo e sua posterior análise, a fim de estudar os quatro parâmetros principais que correspondem à carga, a pressão de inflação, variação lateral dos pneus e tráfego. Isto resultará numa base de dados de

parâmetros de carga medidos no campo. Esta fase será realizada através de projetos de pesquisa que vai desenvolver na Unidade de Materiais e Pavimentos, a Unidade de Segurança Rodoviária e Transportes do PITRA-LanammeUCR e trabalhos finais de graduação. A segunda fase chamada "Desenvolvimento de Sistemas de Modelagem Estrutural" envolve a modelação dos parâmetros estudados e quantificados na primeira fase, com a finalidade de prever a resposta do pavimento para os diferentes parâmetros de carga. A terceira fase corresponde à modelação dos estatísticos de carga com suas variações. Finalmente, a quarta fase corresponde à verificação e/ou comprovação dos modelos de falha. Esta fase consiste em desenvolver diferentes experimentos em escala natural, que permitirão realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de carga e sua influência nas variações dos critérios de falha.

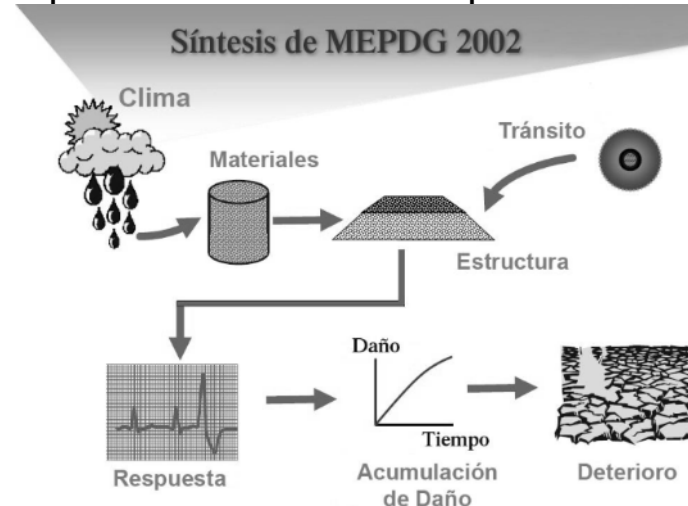
INTRODUCCIÓN

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 la presente 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.

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.

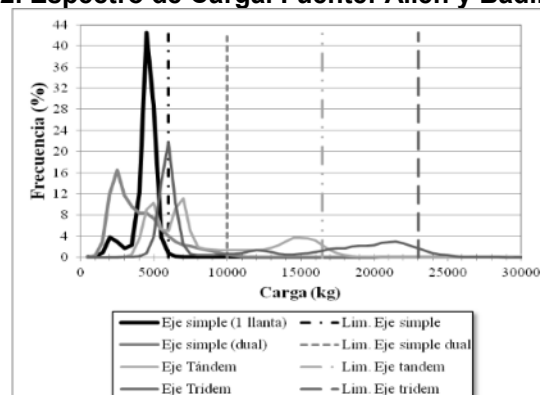


En el 2007 la Unidad de Investigación del PITRA-LanammeUCR presentó los resultados obtenidos en una Encuesta de Carga a vehículos de carga y buses, realizada entre el 2005 y 2006, con el objetivo de obtener los espectros de carga en ocho carreteras principales de Costa Rica. En el estudio se determinó 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).

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. 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.

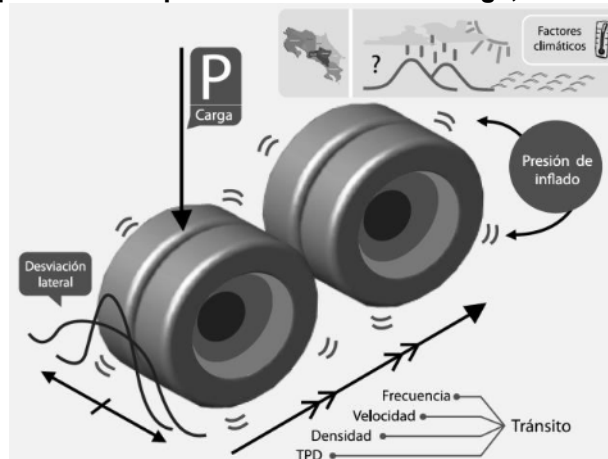
A continuación se presenta la información que se generó gráficamente, después del proceso de análisis.

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



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 a realizar modelos de falla para otras secciones del pavimento y diferentes materiales, en futuros proyectos de investigación.

PROPUESTA BASE: PARÁMETROS DE CARGA

Fase 1: Recopilación de Datos en Campo y su Análisis

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 ya que influye principalmente en las propiedades de los materiales, los mismos serán estudiados en otros proyectos.

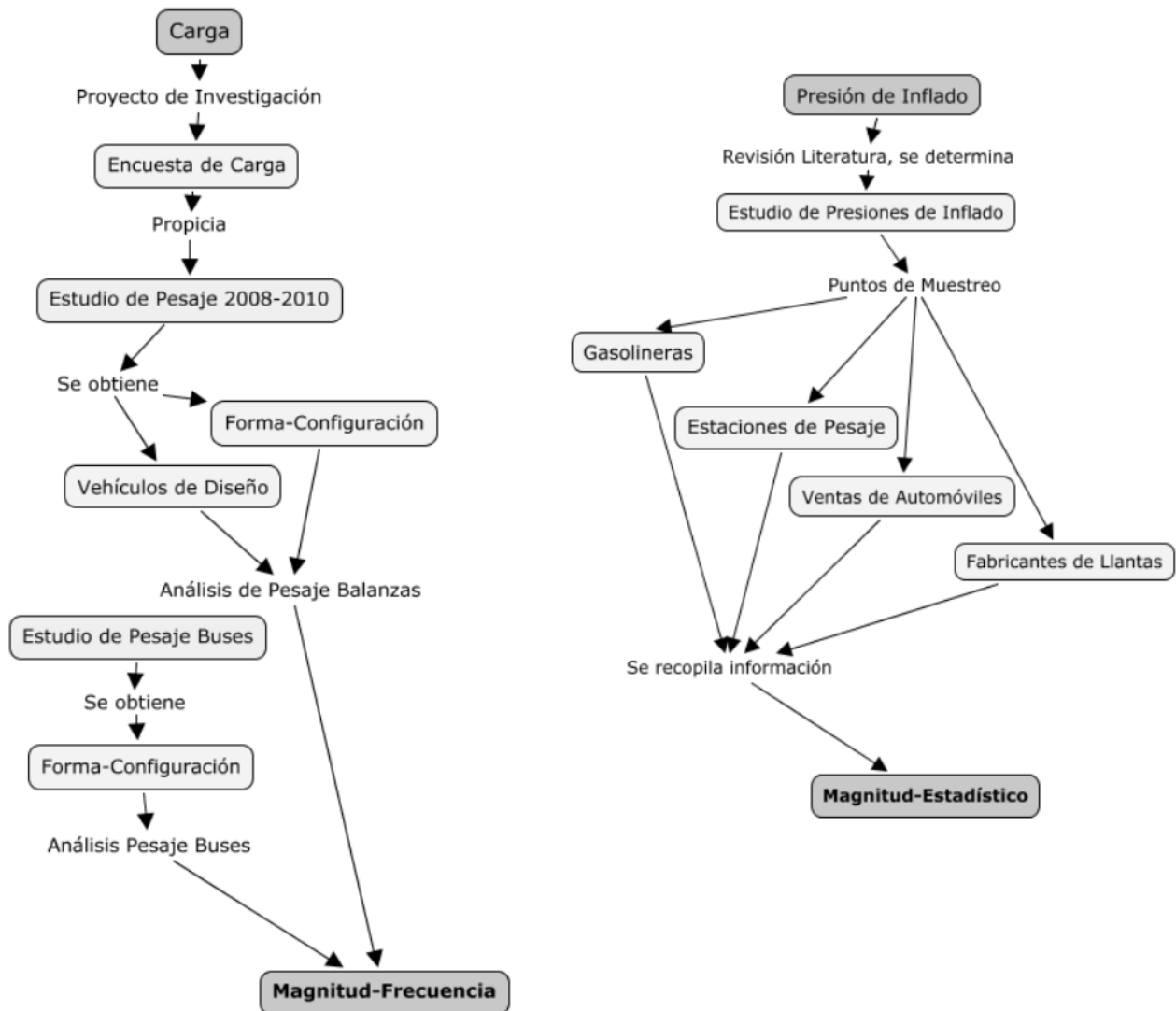
Parámetro carga

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 plantea en el futuro próximo obtener huellas de presión mediante medidores de presión colocados en el pavimento.

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 4. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Factor Carga y Presión de Inflado, 2012.



Tránsito Vehicular

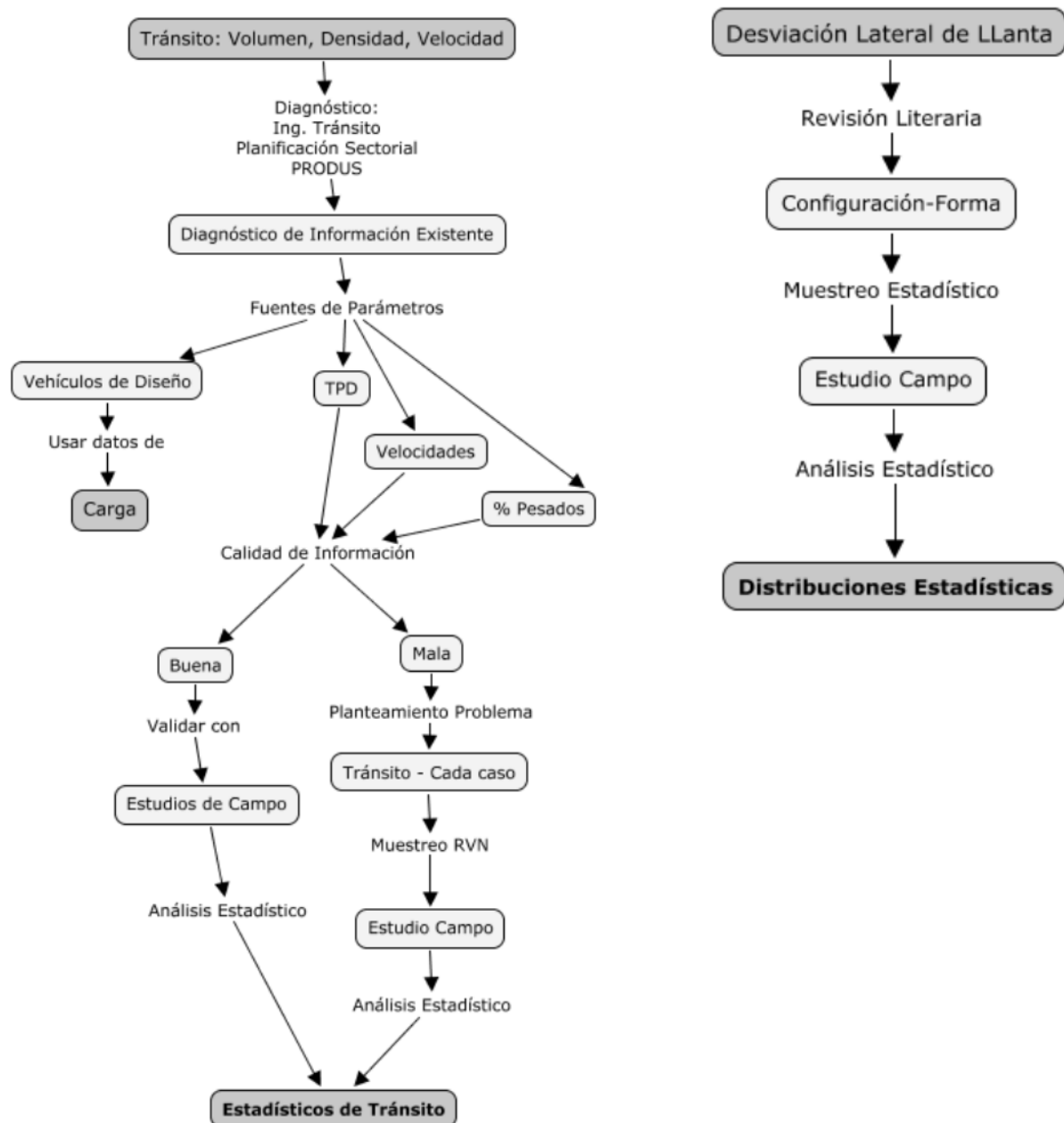
Para modelar las cargas correctamente es necesario determinar la frecuencia, velocidad, volumen y clasificación vehicular de la flotilla en cada proyecto. Los anteriores parámetros son necesarios para determinar la cantidad de vehículos de cada tipo que están pasando diariamente, pues sólo los vehículos 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.

Desviación lateral de la llanta

La desviación lateral de la llanta (“Wheel Wander”), o distribución lateral de la carga 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.

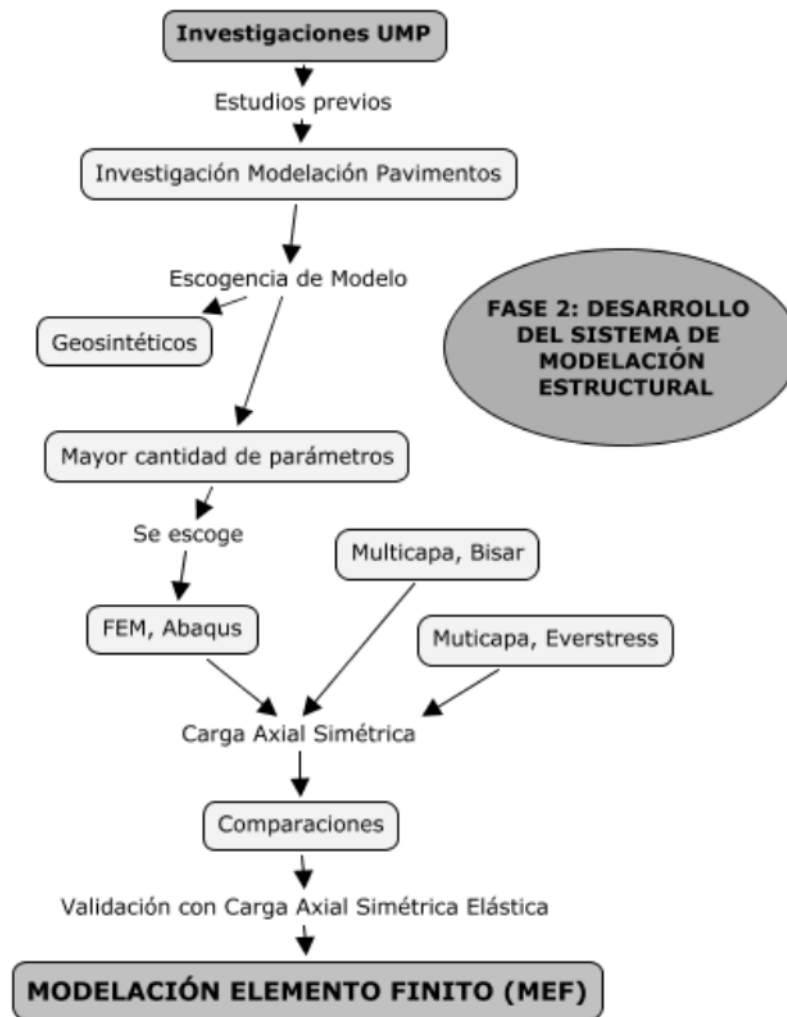
Figura 5. Fase 1: Sub-Líneas Parámetros de Carga: Desviación Lateral de Llanta y Tránsito, 2012.



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 que se realiza 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 6. Fase 2: Desarrollo del Sistema de Modelación Estructural

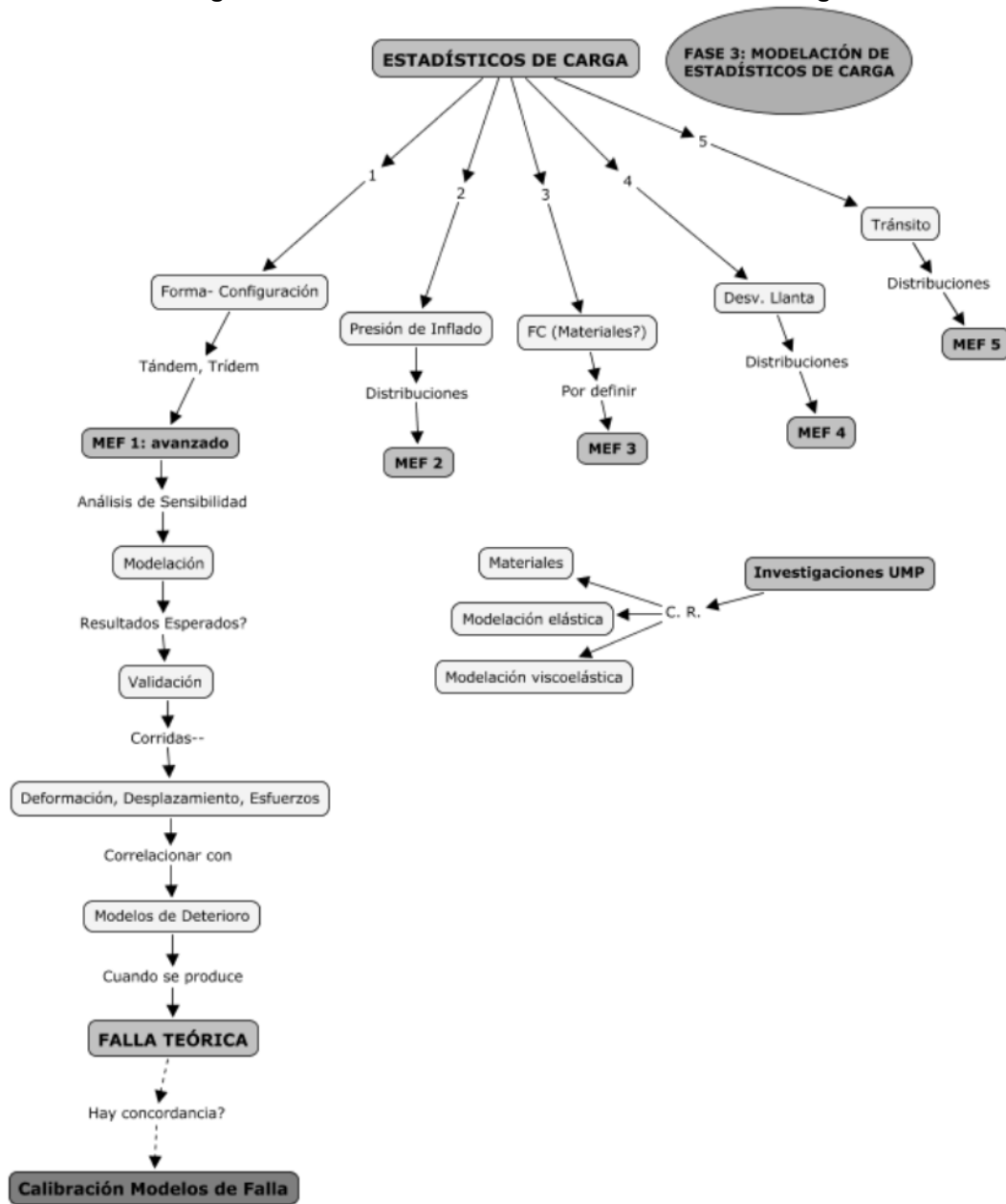


Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga

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, tandem y tridem teóricas 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 7. Fase 3: Modelación de Estadísticos de Carga.

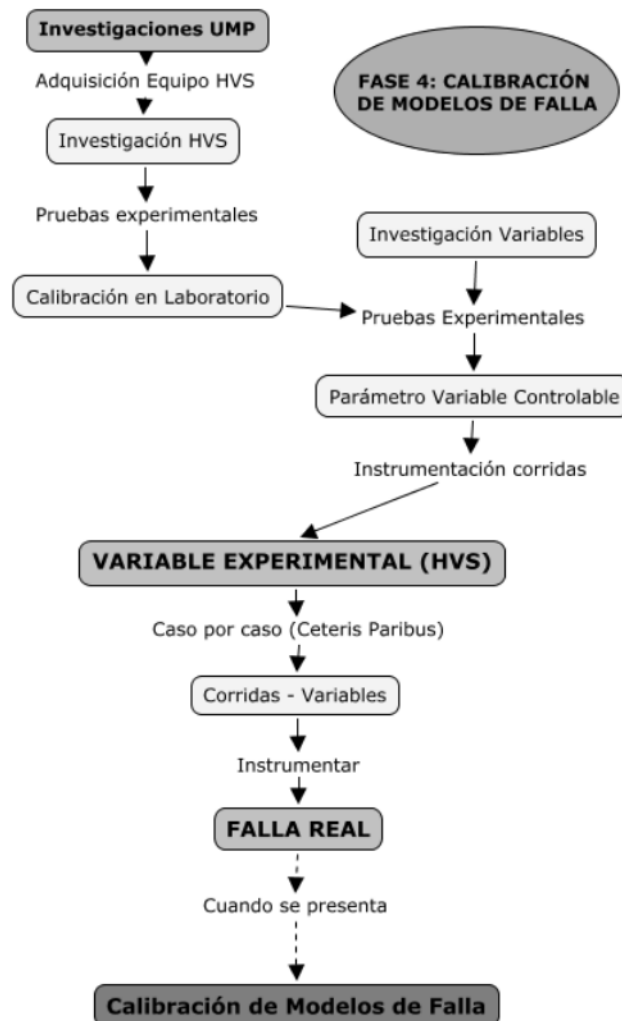


Se propone que dichas modelaciones sean realizadas como parte del trabajo ordinario de la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-LanammeUCR, ya sea mediante Proyectos de Graduación o Proyectos de Investigación Aplicada. Cabe notar que para esto será necesario capacitar a investigadores en el uso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

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 8. Fase 4: Calibración Modelos de Falla.



CONCLUSIONES

Con la presente Línea de Investigación: Parámetros de Carga para Diseño Estructural de Pavimentos en Costa Rica, se busca, con un nivel de detalle riguroso mediante investigación en campo, análisis estadístico, modelación, y validación con pruebas a Escala Natural, culminar los siguientes objetivos:

- 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.
- Calibración de modelos de deterioro con ensayos a escala natural.

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.

REFERENCIAS

- Allen, J. (2013). *Propuesta de Línea de Investigación: Determinación de Parámetros de Carga para Diseño Estructural de Pavimentos en Costa Rica*. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA). LanammeUCR. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Allen, J., Badilla, G. (2011). *XVI Cila Congreso Iberoamericano Del Asfalto, IBP2134_11 – Determinación de la Carga de Diseño para Pavimentos Flexibles en Costa Rica*.
- Badilla, G., Allen, J., Ulloa, A., Sibaja, D. (2007). *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.
- Badilla, G.; Molina, D. (2009). *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.
- Diario Oficial de Costa Rica (2005). *Reglamento de circulación con base en Peso y Dimensiones*. La Gaceta No. 13, miércoles 19 de enero de 2005.
- Kazanovich, L. (2002) *Overview of the MEPDG Pavement Design Guide. 2002 (Internet)*.
- National Cooperative Highway Research Program. (1999) *Appendix AA: Traffic Loadings. Guide for Mechanistic-Empirical Design*. Illinois, 1999.