

# **INFORME FINAL**

## **NOMBRE DEL INVESTIGADOR**

**Luis Amador Jiménez**

## **NOMBRE DEL PROYECTO**

Sistema de Gestión Vial: Patología de fallas en pavimentos,  
modelos de deterioro y toma de decisiones para el mantenimiento de  
la red estratégica provincial de El Oro

## **ÁREA DE DESARROLLO**

## **NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN DE ACOGIDA**

**Universidad Técnica de Machala**

## **PERIODO DE VINCULACIÓN**

**8 Julio al 27 Agosto 2013**

**5 Junio al 29 Agosto 2014**

## INDICE

### I. INFORME FINAL DE ACTIVIDADES

#### Contenido

INFORME FINAL DE ACTIVIDADES .....	2
INTRODUCCION.....	2
MARCO TEÓRICO.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
RESULTADOS OBTENIDOS .....	7
1.- PAPER INDEXADO O ARTÍCULO CIENTÍFICO PUBLICADO .....	7
2.- RESULTADOS POR COMPONENTES .....	8
3. CONTRIBUCIÓN AL PLAN DEL BUEN VIVIR.....	9
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	9
LIMITACIONES .....	10
ANEXOS .....	14

# **INFORME FINAL DE ACTIVIDADES**

## **INTRODUCCION**

Esta investigación busca identificar daños, fallas y condición superficial en las carreteras de la provincia de El Oro, desarrollar modelos de deterioro y un sistema de toma de decisiones para el mantenimiento y rehabilitación de las carreteras de la provincia.

El objetivo durante la primera visita era elaborar una radiografía de la situación actual de las carreteras e identificar sus necesidades futuras de mantenimiento. Durante el segundo año el objetivo era volver a estimar la condición y sobre una base comparativa desarrollar modelos que permitan predecir los niveles de deterioro a futuro de las carreteras.

Finalmente se buscaba contar con una herramienta que permitiera optimizar la toma de decisiones con el fin de cumplir con objetivos como maximizar la condición o minimizar el gasto anual,

La hipótesis es que un sistema de gestión vial es capaz de utilizar los recursos de manera óptima lo que permite alcanzar metas de condición al mínimo costo, para ello el sistema requería de los anteriores elementos (identificación de condición actual, modelaje deterioro, efectividad intervenciones y sistema de toma de decisiones)

Esta investigación recolecto información de unos 425km durante el 2013 y el 2014, visitando las carreteras de la red vial estratégica principal de la provincia de El Oro. Esto permitió determinar el nivel de deficiencias. Durante el 2014 se elaboraron modelos de deterioro mediante una metodología creada por el suscrito investigador en el 2009. También se estimaron efectividades de intervenciones. Finalmente se desarrolló una hoja de cálculo en Excel que permitió generar un problema de optimización dinámico para 20 años de mantenimiento y preservación.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Sistemas de gestión**

Un sistema de gestión es una herramienta que permite optimizar el uso de los recursos materiales y económicos de los ministerios de transporte o las unidades gubernamentales encargadas del mantenimiento y preservación de la red vial

### **Modelos de Deterioro**

Un modelo de deterioro es una ecuación matemática que representa una curva de condición esperada de una carretera o un grupo de carreteras de características similares en función del tiempo. Generalmente indica el nivel de daño acumulado en un momento dado en el tiempo.

El indicador más común es el índice de rugosidad, y se mide como la variación de irregularidades verticales acumuladas por cada kilómetro de recorrido sobre una carretera.

### **Efectividad de Intervenciones**

Las intervenciones viales, deben de caracterizarse por su costo y efectividad en cuanto a la capacidad de extender la vida útil de una carretera al mejorar su nivel de condición. Existen cuatro tipos generales de intervenciones: (1) sellado de grietas y limpieza de vía (también llamado

preventivo), (2) Capeo o micro-surfado (llamado mantenimiento, (3) rehabilitaciones tipo fresado y sobre-carpeta y (4) reconstrucciones.

Es claro que las reconstrucciones son más onerosas (entre US\$300,000 y US\$500,000 por kilómetro carril) pero devuelven la carretera a su estado nuevo, las rehabilitaciones son más baratas (US\$150,000) pero menos efectivas extendiendo la vida útil en un 80%, el mantenimiento extiende la vida útil un 50% y cuesta unos US\$50,000 por kilómetro carril y el sellado de grietas solo conserva la carretera en la misma condición extendiendo la vida útil de uno a tres años.

### **Escenarios de Inversión (Toma de Decisiones)**

Los escenarios de inversión son alternativas en las que se explora la estrategia a seguir, se definen en términos de un objetivo y uno o varias restricciones. Se utiliza programación matemática para resolverlas y es por ello que se requiere de un sistema de toma de decisiones que permita almacenar el inventario de segmentos de carretera, con indicación de su condición actual y su tamaño o longitud de la carretera, y utilizar una variable de decisión binaria (sí o no) que permita aplicar la intervención o no, pero que también mida como la carretera se deteriora a lo largo del tiempo y como esto afecta la condición global de la red vial en el largo plazo. Generalmente se identifican el conjunto de acciones que identifica que segmentos intervenir, con qué tipo de tratamiento y cuando.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **ANTECEDENTES**

El principal problema es la incapacidad actual de poder desarrollar un sistema de gestión cuando no existen datos, pues tradicionalmente se requiere equipo costoso como Perfilómetros laser (US\$150,000) o deflectómetros de impacto (US\$140,000), para poder estimar la condición de una carretera. Adicionalmente, se recomiendan unos 5 años para poder desarrollar curvas de deterioro. Esto generalmente impide que un sistema de gestión vial pueda desarrollarse en países en vías de desarrollo, pues no cuentan con los recursos (equipo, dinero, tiempo) para hacerlo.

### **SITUACION DEL PROBLEMA**

La provincia de El Oro no cuenta con un sistema de gestión vial. El autor de esta investigación ha desarrollado en el 2009 y 2011 métodos de estimación de curvas de deterioro a partir de dos inventarios de condición (es decir después de un año en lugar de 5). También ha desarrollado modelos de estimación de efectividad de tratamientos sobre la misma base de dos inventarios de condición.

### **EFFECTOS INMEDIATOS Y FUTUROS**

De manera inmediata la falta de un sistema de gestión produce el desperdicio de recursos al no poder visualizar y medir el impacto de las decisiones de mantenimiento y rehabilitación a lo largo del tiempo. Impide alcanzar una red vial en buena condición y sostenerla en buen estado a lo largo del tiempo. A futuro significa un problema más difícil de manejar pues las malas políticas de inversión en intervenciones anuales resultan en necesidades crecientes de presupuesto para poder reconstruir segmentos de carretera cada año.

## **CAUSAS PROBABLES Y FACTORES ASOCIADOS**

La primer causa posible es la cultura de que los activos no se intervienen hasta que estén prontos al fin de su vida útil, momento en el que se les reemplaza o reconstruye. Esta filosofía es errónea pues resulta en un mayor nivel de costos. Un ciclo político generalmente toma 5 años, lo cual es la misma cantidad de tiempo que tradicionalmente se demora la puesta en marcha de un sistema de gestión. Los ingenieros carreteros no fueron formados en teoría de toma de decisiones con ayuda de optimización matemática.

## **PROBLEMAS RELATIVOS**

La mala gestión, es decir no optimizar recursos, resulta en alta demanda presupuestaria y conflicto con otros usos como educación y salud. También produce subutilización de recursos porque típicamente cada unidad tiene un presupuesto individual, es decir un presupuesto para puentes, un presupuesto para carreteras de lastre en cierta región, un presupuesto para dispositivos de seguridad, etcétera.

## **ACTORES E INSTITUCIONES INVOLUCRADAS**

La gestión vial sigue un modelo hierarquico en el que el Estado de Ecuador es responsable de las rutas estatales, la provincia de las provinciales, los municipios y parroquias de los caminos cantonales y vecinales dentro del casco urbano.

Pero también requiere de la agencia nacional de tránsito, desde la perspectiva de seguridad vial

## **SOLUCIONES QUE SE HAN INTENTADO**

Generalmente se intenta desarrollar un modelo, y se contrata una empresa consultora que ronda los cientos de miles de dólares, se adquiere costoso equipo con altos costos de mantenimiento, y se inicia una campaña de recolecta de datos que al final de 5 años permite hacer curvas de deterioro, y para el sexto año contratar una empresa que desarrolle un software o comprar un paquete como REMSOFT que cuesta US\$75,000 con el fin de tener un sistema de gestión.

## **INTERROGANTES FUNDAMENTALES A RESOLVER EN ESTA INVESTIGACION**

Es posible tomar datos con equipo de bajo costo?

Es posible elaborar curvas de deterioro después de 1 año de toma de datos?

Es posible contar con una herramienta de toma de decisiones que sea de bajo costo?

Es posible tener un sistema de gestión en 1 año?

## **DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación identifica fallas, daños y condición superficial de carreteras de la red vial estratégica principal de la provincia de El Oro, aproximadamente con 425 km de vías.

Se utilizó un GPS para dar posicionamiento georeferenciado de daños falla y condición superficial, se visitaron carreteras de lastre/terra y asfalto/doble riego.

Se inició la primer auscultación de la red en Julio del 2013 y se dio la segunda visita de evaluación un año después (Junio-Julio 2014). Durante Agosto se efectuaron modelos de deterioro y un sistema de toma de decisiones en MS-Excel.

Las variables fueron la aceleración vertical de un acelerómetro que se normalizo mediante velocidad para producir un indicador de rugosidad del pavimento. Se clasificaron los daños de las vías como deslizamientos, hundimientos o socavaciones, falta de alcantarilla.

## **JUSTIFICACIÓN**

No existe un método de bajo costo para estimar la condición superficial de las carreteras. Hasta recientemente no existía un método para elaborar curvas de deterioro a partir de dos inventarios de condición superficial, tampoco existía un método para identificar la efectividad de las intervenciones.

La provincia de el Oro no contaba con un organización por rutas de sus vías, no conocía la condición más que de una forma cualitativa (bueno, regular o malo), lo cual imposibilita saber qué tipo de intervención vial se requiere. No contaba con una herramienta que permitiera priorizar de manera optimizada cuales segmentos de vías atender con qué tipo de intervención y en que años.

Esta investigación resuelve todos estos problemas. Primero se probó y comprobó que una tableta o celular android-iphone ipad, con la aplicación llamada ANDROSENSOR es capaz de recolectar aceleraciones verticales que se correlacionan a la rugosidad superficial que a su vez refleja el nivel de daño de la carretera.

Esta investigación demuestra que al usar el concepto de edad aparente mediante una análisis croseccional es posible estimar curvas de deterioro para la provincia de el oro. También muestra que MS-Excel puede reemplazar un software de US\$75,000 y servir para la toma de decisiones óptima.

Todo esto sirve de ejemplo para que otras provincias y municipalidades sean capaces de implementar sistemas de gestión vial.

En el futuro este tipo de sistema puede adaptarse para la gestión de puentes, tuberías y otros tipos de infraestructura pública. Infraestructura bien gestionada (en buena condición) es capaz de dar soporte a las actividades económicas, ello es el movimiento de mercaderías y producción y el movimiento de personas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema de gestión vial para las carreteras de la red vial estratégica principal de la provincia de El Oro

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar la condición de las carreteras de la provincia

Estimar el deterioro a futuro

Estimar que tan efectivos son las intervenciones viales

Preparar escenarios de inversión que identifiquen el nivel presupuestario requerido y la meta de condición media alcanzable

## RESULTADOS OBTENIDOS

### 1.- PAPER INDEXADO O ARTÍCULO CIENTÍFICO PUBLICADO

Amador Jimenez, L. and Matout, N. 2014. A low cost solution to assess road's roughness surface condition for Pavement Management. **Proceedings** of the 93<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board of the National Academies. Paper 14-386. [I.F.0.482]. Available online at <http://docs.trb.org/prp/14-3086.pdf> . Washington, D.C.

Amador Jimenez, L. and Serrano, L. 2015. Incorporation of Accessibility into Performance-Based Optimization of Road's Maintenance and Rehabilitation. **Submitted** to the 94<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board of the National Academies. Paper 15-603. [I.F.0.482]. Washington, D.C.

### EN PREPARACION (VER ANEXOS)

Amador-Jimenez, L., Arevalo, C. and Matout, N. 2015. Road Safety deficiencies at a developing country: Case study of Routes E25 and E59 in El Oro, Ecuador.

Matout, N., Amador-Jimenez, L., and Serrano, J. 2015. Compliance of Roadway Lighting at a Developing Country: *Case study of the city of Machala and Expressways in El Oro, Ecuador*

## 2.- RESULTADOS POR COMPONENTES

En este cuadro detallar de manera resumida los resultados puntuales y el total de avances (%) por componentes

COMPONENTES	RESULTADOS ALCANZADOS	% DE AVANCES (de acuerdo a la matriz global)
INVESTIGACIÓN	Evaluación geo referenciada de daños fallas y condición superficial, modelos de deterioro y efectividad de tratamientos. Sistema de toma de decisiones	68%
CAPACITACIÓN CIENTÍFICA EN EL ÁREA PERTINENTE A SU ESPECIALIDAD (Teórico y formativo dirigido a docentes, técnicos, personal especializada en el tema)		
ASESORÍA EN LA ELABORACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS	Se elaboró el Plan Vial de la provincia de el Oro, el cual comprendió todas las vías, no los 425 km iniciales sino unos 3,111 km de vías de la provincia (ver Anexo)	4%
DOCENCIA (dirigida a estudiantes)	Se superviso y concluyo el trabajo de graduación de: Johana Espinoza, Amada Villaroel, Cinthia Arevalo, Leonardo Serrano, Willy Mosquera, Carlos Aguirre. Se superviso y completo el análisis y resultados del trabajo de graduación de Jose Lojan, Marisela, Ronney Torres, Hernan Toro, Jordano Cegarra. Un seminario UTMachala 2013, Un Foro UTMachala 2013, Un Congreso UTM 2014	27%
ASESORÍA Y DISEÑO DE PROGRAMAS DE POSTGRADO		
GESTIÓN DE RECURSOS NACIONALES E INTERNACIONALES (Administrativos, humanos, económicos, etc.)		
RELACIONAMIENTO ESTRATÉGICO INTERINSTITUCIONAL A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	Se sostuvieron reuniones de trabajo y colaboración con la Agencia Nacional de Transito a través del Mayor Julio Heredia, jefe operativo de la provincia de El Oro. Reuniones de trabajo con el Gobierno Provincial de El Oro, incluyendo taller de 1 día en diciembre 13, 2013.	1%
TOTAL		100%

### **3. CONTRIBUCIÓN AL PLAN DEL BUEN VIVIR**

Reducción de tiempos de viaje a los pobladores y para la producción de la provincia mediante carreteras en mejor estado de condición superficial.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Es posible utilizar un acelerómetro para estimar la condición superficial de una carretera, se trata de la desviación estándar de las aceleraciones (al menos 10 por segundo) normalizadas por la velocidad instantánea y multiplicada por 100. El valor de rugosidad debe de medirse a menos de 60 kilómetros por hora, para evitar el efecto de las curvas sobre la aceleración vertical, también los reductores de velocidad el arranque y frenado deben de controlarse o eliminarse de la toma de datos. Se deben de tomar datos con automóviles de similares características.

Es posible desarrollar un modelo de deterioro después de dos evaluaciones de la red vial. Sin embargo existe mucha variación en las carreteras de lastre, las de asfalto si se comportan de manera estable.

Es posible estimar efectividad de intervenciones a partir de dos inventarios de condición, sin embargo la muestra aquí recolectada fue muy pequeña, debido a que solo observo intervenciones en un periodo operativo.

Es posible utilizar MS-Excel para preparar un sistema de toma de decisiones. Sin embargo, requiere de un motor de optimización como lo es frontline solver, o un solver comercial. Estos cuestan unos \$2,000. Las optimizaciones permitieron correr escenarios de inversión e identificar que las carreteras de asfalto de una muestra de 400km requieren unos US\$3,000,000 durante los primeros 6 o 7 años y luego US\$1,500,000 por año después de lograr llevar la red vial a un estado de condición buena. Las carreteras de lastre requieren unos \$9,000,000 por año, sin embargo se recomienda una conversión a asfalto de las principales vías pues el asfalto tiene vida útil que dobla la del lastre. Las carreteras de lastre de El Oro se deterioran en 4 años desde nuevas a completamente destruidas, las carreteras de asfalto tienen una vida útil media de 9 a 10 años.

Los siguientes son conclusiones de productos adicionales, extraordinarios a la investigación contratada entre el suscrito y SENESCYT. El sistema de iluminación de Machala es deficiente, existen altos vales de uniformidad que representan demasiada variación. Las vías de la ruta E25 y E585 muestran contaminación en alumbrado de establecimientos comerciales y viviendas cercanas a la carretera, esto hace que existan segmentos que no cumplen la norma IESNA. En cuanto a seguridad vial un análisis estadístico determino que la mayor frecuencia de colisiones se encuentra en las intersecciones de las rutas E25 y E59, también se encontró que los accesos ilegales y obstáculos en la vía resultan en accidentes más severos.

## LIMITACIONES

Se debe de recolectar datos de condición todos los años y actualizar los modelos de deterioro y efectividad. Los fenómenos climatológicos y la intensidad de tránsito pueden hacer que las vías se deterioren más rápido o más lento que lo predicho.

Cada año después de la campaña de reparaciones de la red vial se debe de ajustar los escenarios de inversión. Intervenciones no planeadas afectan el presupuesto y podrían variar el índice de prioridades.

De existir mayor cantidad de recursos económicos, se recomienda ajustar escenarios de inversión para optimizar la forma en que los mismos se invierten en obras públicas de mantenimiento y rehabilitación vial.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Zimmerman, K.A. and Peshkin, D.G. Issues in Integrating Pavement Management and Preventive Maintenance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1889*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004, pp. 13-20
2. Faghieh-Imani, A. and Amador Jimenez, L. 2013. Towards a sustainable pavement management: incorporating environmental impacts of pavement treatments into a performance-based optimization. In press, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2013.
3. Assessment of Interaction Between Road Roughness and Heavy Vehicles. Rayya A. Hassan and Kerry McManus. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1819*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2003, pp. 236-243
4. Pedigo, R.D., Hudson, W.R. and Roberts, F.L. 1981. Pavement Performance Modeling for Pavement Management. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 814*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1981, pp. 14 – 21.
5. George, K.P., Rajagopal, A.S. and Lim, L.K. (1989). Models for Predicting Pavement Deterioration. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1215*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1989, pp. 1 – 7.
6. The AASHO Road Test. (1962). National Research Council. Highway Research Board. Report 5 Pavement Research. Special Report 61E. Washington D.C., U.S.
7. Watanatada, T., Harral, C.G., Paterson, W.D.O., Dhareshwar, A.M., Bhandari, A., and Tsunokawa, K. 1987. The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1: Description of the HDM-III Model. The International Bank for Reconstruction / The World Bank. The John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, U.S.A.
8. Paterson, W.D.O., and Attoh-Okine, B. 1992. Summary of Models of Pavement Road Deterioration Based on HDM-III. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1344*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1992, pp. 99 – 105.

9. Kim, Y.R. (1998). Assessing Pavement Layer Condition Using Deflection Data. National Cooperative Highway Research Program Project 10-48, Transportation Research Board, Washington D.C.
10. Xu, B., Ranjithan, S.R. and Kim, Y.R. 2003. New Relationships between falling weight deflectometer and asphalt pavement layer condition indicators. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1806. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2003, pp. 48-56
11. Ajideh, H., Bahia, H.U., and Earthman, J. 2012. Scanning Laser Detection System Used to Measure Propagation of Fatigue Damage of Asphalt Mixes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2296, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2012, pp. 135–143.
12. Cao, Y., Labuz, J. and Guzina B. 2011. Evaluation of Pavement System Based on Ground-Penetrating Radar Full-Waveform Simulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2227, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2011, pp. 71–78.
13. GPAO. 2003. Road's Plan 2003-2013 (In Spanish). Gobierno Provincial Autonomo El Oro, Ecuador.
14. Google earth V 6.2.2.6613. (September 30, 2006). El Oro, Ecuador. 3° 26' 43.79"S, 79° 49' 46.83"O, Eye height 1.5 Km.
15. Thomas, B. 2013. Sensorlog, Itunes [online]. Available at <https://itunes.apple.com/ca/app/sensorlog/id388014573?mt=8>
16. Takayama, S. 2013. Acceloger, Google Play [online]. Available at <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.daikiko.Accellogger&hl=en>
17. Dawkins, J., Bevely, D., Powell, B. and Bishop, R. 2011. IntelliDrive Pavement Maintenance Application Quarterly Report [online]. Center for Transportation Studies. Available at [www.cts.virginia.edu/PFS\\_PMSA04\\_2ndQTR.pdf](http://www.cts.virginia.edu/PFS_PMSA04_2ndQTR.pdf)
18. Plessis-Fraissard, M. 2007. Planning Roads for Rural Communities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1989 Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2007, pp. 1-8
19. Targa, F., Clifton, K.J. and Mahmassani, H.S. 2005. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1932. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2005, pp. 61-71
20. Santos, B. Antunes, A. and Miller, E.J. 2008. Integrating Equity Objectives in a Road Network Design Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2089 Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2008, pp. 35-42
21. G.P.A.O. 2003. EL ORO PLAN VIAL PROVINCIAL 2003-2013. Gobierno Provincial Autónomo de El Oro.
22. Zhao, F. and Chung, S. 1999. Contributing Factors of Annual Average Daily Traffic in a Florida Country. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1769 Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 1999, pp. 113-122
23. Khan, S. and Levy, D. 2003. Linking Economic Development to highway improvements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1848.

- Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2003, pp. 106-113
24. Visser, A.T. and Hall, S. 2003. Innovative and Cost-Effective Solutions for Roads in Rural Areas and Difficult Terrain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1919. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2003, pp. 169-173
  25. Merilainen, A. 1996. Impact of Low-Volume Road Network Improvements on Rural Community Development in Finland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1559. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 1996, pp 100-110.
  26. Levinson, D. and Krizek, K.J. 2008. *Planning for Place and Plexus: Metropolitan Land Use and Transport*. Routledge. First Edition.
  27. Marcet, J.E., Altamira, A.L., Bustos, M.G., Cordo, O.V., Mancini, P.G., Fernández, O.M., and Pereyra, M.O. 2007. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1989 Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2007, pp. 20-33
  28. Haas, R., and Hudson, W.R., 1994. *Pavement Management Systems*. New York: McGraw Hill.
  29. TAC, 1997. *Pavement Design and Management Guide*. Ottawa: Transportation Association of Canada (TAC).
  30. Hudson, W.R., Haas, R., and Uddin, W., 1997. *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilitation and Renovation*. McGraw-Hill, USA.
  31. Watanatada, T. et al., 1987. *The Highway Design and Maintenance Standards Model - HDM III*. Washington D.C.: Word Bank - John Hopkins University.
  32. Li, N. and Hass, R. Reliability – Based Processing of Markov Chains for Modeling Pavement Network Deterioration. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 1524, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 203 – 213.
  33. Imani, A. F. & Amador, L., 2013. *Towards A Sustainable Pavement Management: Incorporating Environmental Impacts of Pavement Treatments Into A Performance-Based Optimization*. Washington D.C., Transportation Research Board-92nd Annual Meeting.
  34. Sayers, M. W., 1995. On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board of the National Academies*, No. 1501, Washington, D.C., pp. 1-12.
  35. Feunekes, U., Palmer, S., Feunekes, A., MacNaughton, J., Cunningham, J., and Mathisen, K., 2011. Taking the politics out of Paving: Achieving Transportation Asset Management Excellence through Operation Research. *Interfaces*, Vol. 41, No. 1, pp. 51–65.

FIRMA DEL INVESTIGADOR /DOCENTE

FIRMA CONTRAPARTE INSTITUCIONAL 1

(rúbrica y sello)

FIRMA CONTRAPARTE INSTITUCIONAL 2

(rúbrica y sello)

# **ANEXOS**

